



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO DE TELECOMUNICACIÓN,
ESPECIALIDAD EN SONIDO E IMAGEN

Título del proyecto:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ENTORNOS URBANOS
INTELIGENTES MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DE REDES
DE SENSORES INALÁMBRICOS

Máryuri Flores Navarro

Dr. Francisco Javier Falcone Lanas

Pamplona, 24 de julio de 2014





Dedicatoria

- A Dios por haber hecho posible, pese a los numerosos obstáculos, el que este día por fin haya llegado.
- A mi padre, por el que lo hubiera dado todo con tal de que estuviera presente para cumplir su sueño de verme convertida por fin en ingeniera. La vida quiso que no fuese así físicamente, pero espero que sepa igualmente que he llegado hasta donde estoy gracias a él.
- A mi madre, esa mujer en la que espero convertirme algún día, por creer siempre en mí, por darme fuerzas y ánimos día tras día. Porque en los peores momentos en los que me han superado las dificultades, he sentido que no puedo más o he querido tirar la toalla, con su cariño y palabras de apoyo, me ha convencido de que soy capaz, de que yo puedo, de que yo me lo merezco. Sin ella nada de esto hubiera sido posible. A ella se lo debo todo.
- A mis hermanos, John y Dana, de los que tuve que separarme desde hace ya más de 10 años para darles ejemplo de superación y lograr llegar a esta meta. A ellos por ser mi inspiración.
- A mi familia en España (sobre todo a mis tías y abuelos), por adoptarme con una hija más. Por ayudarme siempre y hacer que la distancia con el resto de mi familia en Perú fuese más llevadera por el hecho de tenerlos a ellos para quererme y cuidar de mí.
- A mis primos, ellos que siempre me roban una sonrisa, ellos que son un hermano y hermana más. Porque gracias a ellos he tenido los mejores momentos, incluso en días nublados han logrado que olvide mis penas con sus ocurrencias.



- A mis amigos, aquellos buenos amigos que he tenido la suerte de hacer aquí. Ellos que siempre me han apoyado y han estado ahí para mí en las buenas y en las malas.
- A mis demás familiares y conocidos, que han deseado que llegue hasta aquí.
- Y a todas y cada una de las personas que me han apoyado de cualquier manera para que este proyecto pudiera llegar hasta el final, en especial a Francisco y a Erik, por tener la predisposición de estar allí para ayudarme en lo que hiciese falta.



Índice

1. Introducción.....	7
2. Objetivo	11
3. Estado del Arte	12
3.1 Smart Metering	12
3.1.1 Antecedentes de la Red Eléctrica	13
3.1.2 Ventajas de la Red Inteligente o Smart Grid.....	14
3.1.3 Funcionamiento y Limitaciones de los Contadores Tradicionales.....	15
3.1.4 Legislación	16
3.1.5 ¿Qué es un Smart Meter?.....	18
3.1.6 Ejemplo de un Smart Meter	19
3.1.7 Ventajas del uso de Smart Meters.....	19
3.1.7.1 Para la compañía distribuidora	20
3.1.7.2 Para el cliente	21
3.1.8 Situación actual y futura de los Contadores Inteligentes.....	23
3.2 Redes de Sensores Inalámbricos	24
3.2.1 ¿Qué es un Sensor?.....	24
3.2.2 El sensor inalámbrico.....	25
3.2.2.1 Estándares para una WSN	26
3.2.2.2 Wi-Fi.....	27
3.2.2.2.1 Rango y flujo de datos de los estándares más conocidos.....	27
3.2.2.2.2 Ventajas de la tecnología Wi-Fi.....	28
3.2.2.2.3 Desventajas de la Tecnología Wi-Fi	29
3.2.2.3 Bluetooth.	31
3.2.2.3.1 Características Técnicas de Bluetooth.....	31
3.2.2.3.2 Rando de operación.....	32
3.2.2.4 ZigBee.....	36
3.2.2.4.1 Rango de frecuencia y flujo de datos.....	37
3.2.2.4.2 Ventajas de la tecnología ZigBee.	38
3.2.2.4.3 Desventajas de la tecnología ZigBee	41
3.2.2.5 Comparativa entre las tres tecnologías	41
3.2.3.3.2 Ventajas del uso de la tecnología Bluetooth	33
3.2.3.3.3 Desventajas de la tecnología Bluetooth	35
3.3 Propagación RF.....	42
3.3.1 Atenuación.	44
3.3.2 Absorción.....	44
3.3.3 Reflexión.....	45
3.3.4 Refracción.....	46
3.3.5 Difracción.....	46
3.3.6 Dispersión.	47



3.3.7 Multi-trayecto	47
3.3.8 Ruido	48
3.4 Modelos de Propagación	49
3.4.1 Clasificación de los modelos de propagación.....	49
3.4.1.1 Modelos Outdoor	50
3.4.1.2 Modelos Indoor.....	50
3.4.1.2.1 Modelos Empíricos.....	51
3.4.1.2.2 Modelos Deterministas	51
3.4.1.2.2.1 Lanzado de Rayos.....	52
3.4.1.2.2.2 Software del lanzado de rayos.....	53
4. Simulación y resultados	56
4.1 Creación del escenario.....	56
4.2 Simulación del trazado de rayos en tres dimensiones.....	61
4.3 Resultados.....	66
4.3 Resultados y su Análisis.....	66
4.3.1 Mapas de Potencia.....	66
4.3.2 Radiales a diferentes alturas (1,2 y 3m)	91
4.3.2.1 Antena situada en el suelo (z=1.6m).....	91
4.3.2.1.1 Posición de la antena en 3.8,22.2,1.6 (ejes x,y,z en m)	91
4.3.2.1.2 Posición de la antena en 13.8, 3.8, 1.6 (ejes x,y,z en m).	94
4.3.2.1.2 Posición de la antena en 3.8,22.2,1.6 (ejes x,y,z en m)	70
4.3.2.2 Antena situada en el tejado (z=15.9m)	97
4.3.2.2.1 Posición de la antena en 3.8,22.2,15.9 (ejes x,y,z en m).....	97
4.3.2.2.2 Posición de la antena en 13.8,3.8,15.9 (ejes x,y,z en m).....	100
4.3.3 Comparativa de Radiales a diferentes potencias, frente a los Umbrales de Sensibilidad de las Tecnologías Inalámbricas.....	104
4.3.3.1 Antena situada en el suelo (z=1.6m).....	104
4.3.3.1.1 Posición de la antena en 3.8, 22.2, 1.6 (ejes x,y,z en m)	104
4.3.3.1.2 Posición de la antena en 13.8,3.8,1.6 (ejes x,y,z en m)	107
4.3.3.2 Antena situada en el tejado (z=15.9m)	110
4.3.3.2.1 Posición de la antena en 3.8, 22.2, 15.9 (ejes x,y,z en m).....	110
4.3.3.2.2 Posición de la antena en 3.8,22.2,15.9 (ejes x,y,z en m).....	113
4.3.4 DelaySpread.	117
4.3.4.1 Antena situada en el suelo (z=1.6m).....	117
4.3.4.1.1 Posición de la antena en 3.8, 22.2, 1.6 (ejes x,y,z en m)	117
4.3.4.1.2 Posición de la antena en 13.8, 3.8, 1.6 (ejes x,y,z en m)	118
4.3.4.2 Antena situada en el tejado (z=15.9m)	120
4.3.4.2.1 Posición de la antena en 3.8, 22.2, 15.9 (ejes x,y,z en m).....	120
4.3.4.2.2 Posición de la antena en 13.8, 3.8, 15.9 (ejes x,y,z en m).....	121
4.3.5 PDPs.....	123
4.3.5.1 Antena situada en el suelo (z=1.6m).....	125
4.3.5.1.1 Posición de la antena en 3.8, 22.2, 1.6 (ejes x,y,z en m)	125
4.3.5.1.2 Posición de la antena en 13.8, 3.8, 1.6 (ejes x,y,z en m)	128
4.3.5.2 Antena situada en el tejado (z=15.9m)	131
4.3.5.2.1 Posición de la antena 3.8, 22.2, 15.9 (ejes x,y,z en m)	131
4.3.5.2.2 Posición de la antena en 13.8, 3.8, 15.9 (ejes x,y,z en m).....	134
5. Conclusiones	137



6. Líneas Futuras	139
7. Bibliografía.....	141
8. Anexos.....	145
8.1 Herramientas utilizadas.....	145
8.1.1 Hardware	145
8.1.2 Software.....	146
8.1.2.1 Matlab.....	146
8.1.2.2 SigmaPlot	148
8.1.2.3 Microsoft Office	149
8.1.2.4 Código para la simulación con trazado de rayos en 3D.....	152
8.2 Resultados Adicionales	169
8.3 Publicaciones.....	186



1. Introducción

En el proceso de urbanización que a diario experimenta el mundo, el desarrollo de Smart Cities (infraestructuras que aprovechan la potencialidad que nos aportan las tecnologías actuales para mejorar la calidad de vida de sus habitantes), es un concepto emergente que cobra cada vez mayor relevancia, sobre todo en cuanto a la optimización de la calidad de vida del ciudadano se refiere.

La previsión que maneja Naciones Unidas, señala que el 70% de los seres humanos habitarán en centros urbanos en 2050. El aumento de la población de las ciudades puede convertirse en un auténtico problema a no ser que se logre mantener la armonía entre los aspectos espacial, social y ambiental, así como entre sus propios habitantes.

En este nuevo escenario sociológico y demográfico, con claros efectos económicos, políticos y medioambientales, es imprescindible el camino hacia la Ciudad Inteligente para afrontar así el reto de manejar ciudades cada vez más grandes y complejas.

Uno de los numerosos caminos hacia las Smart Cities incluye los sistemas de control de consumo eléctrico que hasta ahora eran de visión y nota manual por parte del operario de la compañía eléctrica.

En concreto, la normativa vigente en España establece que *“Todos los contadores de medida en suministros de energía eléctrica con potencia contratada de hasta 15 Kw (contadores eléctricos tradicionales), deberán ser sustituidos por nuevos equipos que permitan la telegestión antes del 31 de diciembre de 2018”*.



La telegestión permite pues, la lectura del consumo eléctrico y la realización de operaciones de forma remota gracias al desarrollo de un sistema de última generación de comunicaciones que conecta los contadores inteligentes con la compañía eléctrica.

Entre sus ventajas se encuentran: la lectura de consumo a distancia, altas, bajas y modificaciones de contrato inmediatas, control de potencia, mayor rapidez en la detección e identificación de incidencias, posibilidad de desarrollo de nuevos servicios de valor añadido, mejora de la información sobre el consumo de energía, aplicación de tarifas más flexibles que optimizan el uso de la potencia contratada. Además favorece al sistema eléctrico debido a la información constante y fiable que se proporciona sobre el comportamiento de la red.

La telegestión constituye pues, la base tecnológica para la evolución hacia las redes inteligentes o Smart Grids, que se definen como redes de desarrollo de comunicaciones, controles, ordenadores, sistemas de automatización, nuevas tecnologías y herramientas que interaccionan entre sí con el fin de hacer la red más eficiente, más fiable, más segura y más respetuosa con el medio ambiente. A estas redes se les atribuye la “inteligencia” por el hecho de contar con la tecnología digital que permite la comunicación bidireccional entre la empresa suministradora de electricidad y sus clientes.

Una vez sumergidos en este contexto, hace falta la inclusión de un nuevo término, el del Smart Meter, que instalado en lugar de los viejos contadores, funciona digitalmente y permite transferencias automáticas y complejas de información. Es decir, el contador inteligente será el encargado de conectar la vivienda con la compañía eléctrica.

Además del contador inteligente, harán falta otros dos elementos:

- **El concentrador**, que instalado en los centros de transformación de media a baja tensión, permite ejecutar peticiones tanto en forma programada, como bajo petición, y tiene capacidad de detección automática y de gestión de los contadores.

Este concentrador incorpora comunicaciones Powerline con los contadores, en las que la información se transmite entre los contadores y los concentradores a través de la misma red eléctrica.

- **El sistema central**, para gestionar a distancia los contadores y los concentradores, y servir de conexión con los sistemas comerciales y técnicos de la compañía eléctrica.

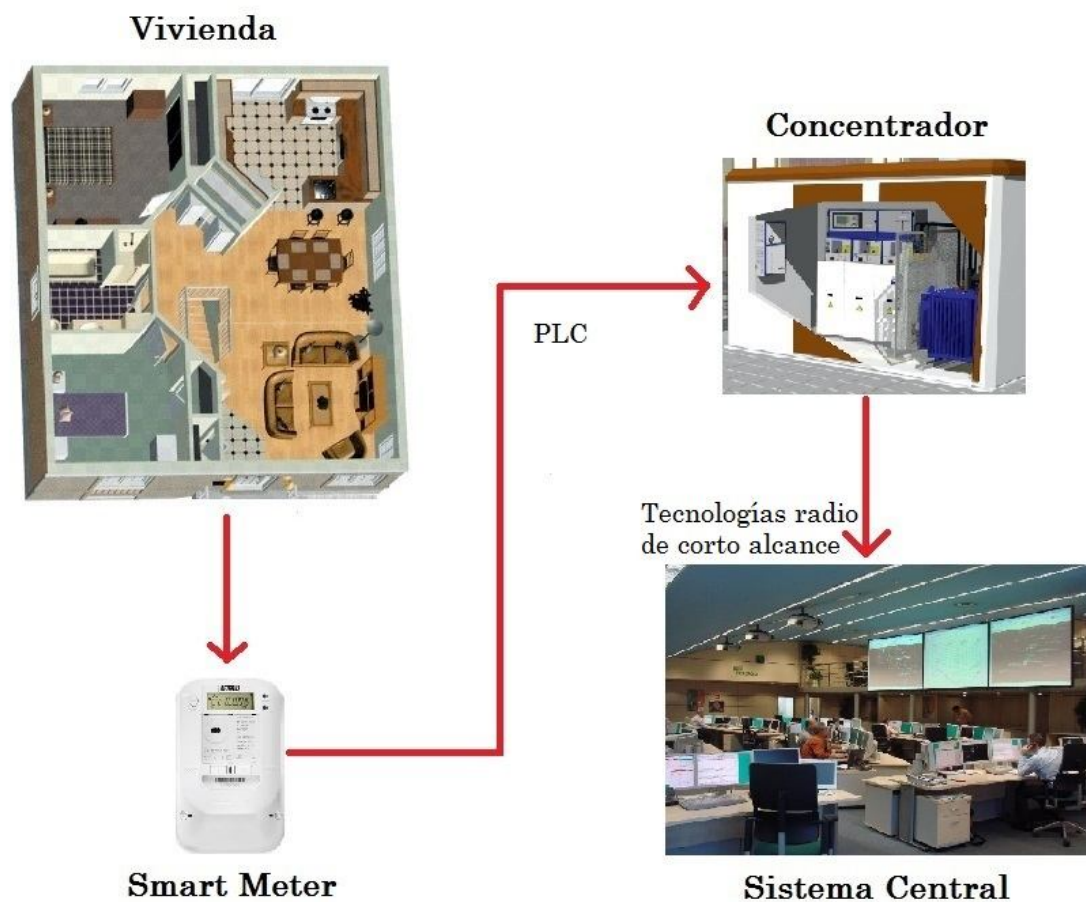


Figura1. Modelo de Telegestión actual.



Llegados a este punto, el presente proyecto consiste en el análisis del funcionamiento de un contador inteligente inalámbrico, situado estratégicamente en función de su distribución espacial en bloque de edificios (ciudad).

En él, se comparará el comportamiento (en un determinado escenario), de la variedad de tecnologías de radio de corto alcance más importantes tales como: ZigBee, Bluetooth o Wifi; para quedarnos con la que mejor posibilite la comunicación entre el contador y la red eléctrica, teniendo en cuenta factores como: potencia, provisión de servicios o rango de aplicaciones.

Para ello a lo largo de este proyecto se estudia el canal RF con respecto al efecto del entorno, las interferencias y la posición del contador inalámbrico, teniendo en cuenta los siguientes elementos:

- Medidas empíricas de RF.
- Simulaciones sobre modelos empíricos.
- Simulaciones sobre trazado de rayos 3D deterministas.
- Análisis del alcance de actuación del sistema.

Con los resultados obtenidos intentaremos plantear soluciones para lograr mejorar, si es posible, la comunicación simulada.



2. Objetivo

El objetivo de este proyecto es el de diseñar e implementar un entorno urbano inteligente (ciudad), mediante la integración de redes de sensores inalámbricos (contadores inteligentes inalámbricos), planteando de esta manera un cambio en el modelo de telegestión actual, que además posibilite potencialmente la conexión de dispositivos móviles de manera ad-hoc a esa red de gestión energética, abriendo así un nuevo abanico de posibilidades de interacción con el usuario.

A partir de nuestro escenario, y usando como base el modelo de trazado de rayos, el objetivo será analizar en qué medida, la presencia de diversos factores tales como: el tipo de tecnología de radio de corto alcance utilizado o la localización del contador, pueden afectar a la comunicación con el mismo.

Pretendo así pues, saber cuáles son las limitaciones a tener en cuenta y las condiciones más óptimas para su correcto funcionamiento.



3. Estado del Arte

3.1 Smart Metering.

En los tiempos que corren, el suministro eléctrico en las condiciones contratadas el 100% del tiempo, se ha vuelto indispensable.

Tanta es nuestra dependencia, que cuando se producen incidencias, muchas veces implican pérdidas económicas en forma de deterioros o de alteración de la producción en industrias y comercios.

La masiva introducción de contadores inteligentes (Smart Meters), puede ser una oportunidad única para acometer cambios profundos en el sistema de facturación a los consumidores.

3.1.1 Antecedentes de la Red Eléctrica.

Nuestra red eléctrica actual, se diseñó hace más de 100 años, cuando las necesidades en materia de electricidad eran básicas. La generación de energía tenía un enfoque y un desarrollo local en torno a comunidades. La mayoría de hogares tenía entonces unas necesidades energéticas básicas como el uso de unas pocas bombillas y un aparato de radio.

La red se diseñó entonces, para permitir a las empresas de servicios eléctricos, suministrar energía eléctrica a los hogares de los consumidores y poder facturarles una vez al mes el correspondiente servicio.



En este tiempo y al igual que otros sectores, todo lo relacionado con la electricidad y su distribución ha evolucionado a la par que el desarrollo tecnológico en general. Por tanto, continuar con esta interacción unidireccional con limitaciones, dificulta la capacidad de la red para dar respuesta a la creciente demanda de energía del siglo XXI.

Con el cambio, se pretende que la nueva red inteligente sustituya la infraestructura envejecida de la red actual y que con la participación de los consumidores informados, se permita que las empresas de servicios eléctricos puedan comunicarse mejor con los consumidores, optimizando así la gestión de las necesidades en materia de energía eléctrica.

3.1.2 Ventajas de la Red Inteligente o Smart Grid.

La red inteligente, Smart Grid, incorpora un diálogo bidireccional, en el que tiene cabida un intercambio de electricidad e información entre la empresa de servicios eléctricos y sus clientes.

Se trata de una red de desarrollo de comunicaciones, controles, ordenadores, sistemas de automatización, nuevas tecnologías y herramientas, que interaccionan entre sí con el fin de hacer la red más eficiente, más fiable, más segura y más respetuosa con el medio ambiente.

Esta red inteligente, permite la integración de nuevas tecnologías como la producción de energía eólica y solar, así como la carga de vehículos eléctricos a través de la conexión a la red eléctrica. De esta manera facilitan el almacenamiento de la electricidad al integrar la generación distribuida de fuentes renovables y al desplegar la infraestructura de recarga para la movilidad eléctrica, contribuyen a la reducción de las emisiones de CO₂.



Ofrece mejoras de los niveles de fiabilidad y seguridad del suministro: cuando hay una avería, las tecnologías de la red inteligente pueden detectar y aislar el problema y contribuir a que la recuperación de la electricidad sea rápida y se desarrolle estratégicamente, devolviendo la electricidad a los servicios de emergencia en primer lugar, por ejemplo.

Proporciona al usuario la información y las herramientas necesarias para tomar decisiones sobre su uso de la energía, permitiéndole desempeñar un papel en la optimización del funcionamiento del sistema: el cliente podrá ver cuánta electricidad consume, cuándo la utiliza y cuánto le cuesta, y ahorrar dinero generando su propia energía y eligiendo el mejor momento para consumir electricidad.

Y, facilita la conexión y el funcionamiento de los generados, cargas y acumuladores de diferentes tamaños y tecnologías.

3.1.3 Funcionamiento y Limitaciones de los Contadores Tradicionales.

El contador de luz analógico es un sistema electromecánico basado en el wattímetro o vatímetro. Tiene una bobina fija por la que circula toda la corriente de la instalación y una bobina móvil con una resistencia grande en serie.

El desplazamiento de la bobina móvil depende tanto de la intensidad de la corriente como del valor de la tensión y es proporcional al producto de las mismas, es decir a la potencia que demanda la instalación.

Trasladando el movimiento de giro de la bobina a un sistema mecánico de engranajes con números o simplemente contando las vueltas en una rueda marcada y multiplicándolas por la constante del medidor, se obtiene el valor del consumo en Watts/minuto, multiplicando por 60 en Watts/hora y dividiendo por mil en Kw/hora.



En la mayoría de los contadores eléctricos, es la rotación de uno disco lo que permite a la compañía eléctrica medir la cantidad de electricidad que está utilizando. La electricidad que se va a utilizar pasa por un par de espiras que inducen un campo magnético. Los campos magnéticos crean una corriente de Foucault en el disco de aluminio y hace que el disco gire a una velocidad proporcional a la cantidad de energía que se consume.

El principio de funcionamiento se basa en lo mismo que en los analógicos, pero realizado por circuitos integrados que convierten la tensión y corriente a señales digitales con las que trabajan. La representación es directa en display, obteniéndose así valores mucho más precisos en la medición.

Estos sistemas de control de consumo hasta ahora eran de visión y nota manual por el operario de la compañía eléctrica. Esto supone un gran problema cuando este contador es de difícil acceso. Si se tiene que acceder al interior de la propiedad del consumidor, las cosas se complican ya que en algunos casos no vive nadie en la finca, o simplemente no se encuentra nadie de la casa o vivienda para tener acceso al control del contador. Todo esto conlleva errores de lectura o se hace una lectura estimada (que siempre ha generado polémicas) en relación con el consumo histórico. También el fraude era generalizado en algunas zonas, o sectores de población.

3.1.4 Legislación.

Tanto a nivel europeo como nacional existen planes para la sustitución de estos contadores tradicionales por otros de tecnología digital inteligente.

Esta sustitución con calendarios de implantación diferentes a nivel europeo y locales, puede suponer una oportunidad única de aprendizaje para los consumidores sobre sus propios hábitos e intensidades de consumo, hecho básico para tomar acciones correctivas en la lucha por una mayor eficiencia energética.



Para que esto sea una realidad, deberán acometerse cambios profundos en el sistema tarifario actual, dejando de ser válidas las tarifas a precio fijo o con amplios horarios de discriminación horaria, donde no puede ser tenido en cuenta el coste real de la energía, además del necesario mecanismo de retroinformación al consumidor de manera gratuita.

Con esta finalidad, la disposición adicional primera de la Orden ITC/3860/2007, de 28 de diciembre, por la que se revisan las tarifas eléctricas a partir del 1 de enero de 2008, establece que: ***“Todos los contadores de medida en suministros de energía eléctrica con potencia contratada de hasta 15 Kw (contadores eléctricos tradicionales), deberán ser sustituidos por nuevos equipos que permitan la discriminación horaria y la telegestión antes del 31 de diciembre de 2018”.***

Otras ordenanzas que recogen dicha obligación legal tanto para las empresas eléctricas como para los consumidores son el Real Decreto 1110/2007 de 24 de agosto y la Orden ITC/3022/2007 de 10 de octubre.

La razón de estas normas legales es que “los contadores inteligentes”, suponen una aportación fundamental a uno de los principales objetivos de la política energética de España y de la Unión Europea: incrementar la eficiencia y el ahorro energético. Un objetivo que tiene una importancia aún mayor en el actual contexto de crisis económica.

El gobierno incluye otra cambio que justifica la necesidad del contador inteligente: La energía eléctrica no puede almacenarse en grandes cantidades, hay que producir exactamente y en tiempo real la luz que el mercado necesita. En función de quien está dispuesta a producir la energía que necesita el sistema en esa hora, el precio será más barato o más caro, de esta manera se tendrá un precio diferente para cada hora de energía consumida. Esta situación favorece al cliente, si conocedor de sus hábitos de consumo, es capaz de consumir en las horas más baratas.



Así es como se estipula que se comprará la energía eléctrica a partir de abril del presente año, como si se tratase de una compra en la bolsa.

Hasta que se haga efectivo el cambio total de los contadores en 2018, el gobierno ha decidido que se aplicarán perfiles estándar para transformar la lectura del contador tradicional en una lectura del contador inteligente. Precios mensuales para cada tarifa, conocida a final de mes.

De cara al consumidor aparecen otros aspectos que deberían garantizarse desde la administración, como ya lo viene denunciando BEUC3 (Organización Europea de Consumidores) como son la garantía de que los contadores utilicen un sistema de comunicación abierto, universal para cualquier compañía de electricidad, pero con la suficiente seguridad criptográfica para no ser “hackeados” obteniendo datos personales u actuando sobre ellos por parte de terceros.

3.1.5 ¿Qué es un Smart Meter?.

Para cumplir con la normativa vigente, es decir proporcionar la información en tiempo real y con discriminación horaria, es necesario un equipo de medida distinto al contador tradicional electromecánico y con prestaciones mucho más especiales.

Se necesita por ello, definir una nueva forma de medir denominada Smart Metering, que se refiere al proceso de medida por el cual se cuantifica y transmite instantáneamente la información en cantidades de energía consumidas o producidas, para su gestión en la red eléctrica.

El contador inteligente o Smart Meter, es un equipo que permite medir el consumo energético de los clientes de las compañías eléctricas de manera mucho más eficiente y beneficiosa que con el uso de los contadores tradicionales.

Es el punto de contacto de la vivienda con la compañía eléctrica.

Se trata de un contador digital que mide el consumo de luz en tiempo real y que permitirá acabar con las lecturas estimadas de los viejos aparatos. Permite su lectura a distancia, por lo que no será necesaria la visita del técnico. Asimismo, informa sobre la curva de consumo del usuario, lo que le permitirá planificar el gasto de energía en función de los precios de la misma a lo largo del día. En general, servirá para incrementar la información disponible para el usuario.

No obstante, según advierten desde la CECU (Confederación de Consumidores y Usuarios), para que el contador inteligente pueda desplegar todo su potencial, es necesario que la red eléctrica esté preparada para transmitir la información y permitir la lectura a distancia, de lo contrario, será como tener un teléfono inteligente sin 3G.

3.1.6 Ejemplo de un Smart Meter.



1. Pantalla y 2. Botón de Lectura: En el centro de la pantalla se encontrará toda la información útil. Dicha información se obtiene pulsando el botón de lectura. Además, en el ángulo inferior izquierdo de la pantalla aparecen dos indicaciones a tener en cuenta: el símbolo L1, que indica que el contador funciona correctamente y el símbolo ▼!, que indica una posible falta de suministro.

Figura2. Contador Inteligente. Ref. (<http://pianohacks.wordpress.com/2013/06/01/el-nuevo-contador-de-endesa/>)



3. Indicador de consumo: Se trata de una luz que al parpadear indica que se está consumiendo energía.

4. Interfaz Óptica: Su uso está reservado exclusivamente al personal técnico autorizado.

3.1.7 Ventajas del uso de Smart Meters.

3.1.7.1 Para la compañía distribuidora.

- Control Remoto de Consumo. Las compañías distribuidoras podrán leer los contadores desde los centros de control. Se ahorran el coste del personal que tiene que tomar lecturas mensuales de los contadores.
- El centro de control se comunica con los contadores mediante el mismo cableado eléctrico que transmite la electricidad y esta transmisión.
- Actualización de FirmWare de manera remota. No será necesario manipular o cambiar nada en el medidor para incorporar nuevas funcionalidades, como nuevos tipos de tarifas. La operación se podrá realizar desde el centro de control.

En la actualidad una modificación de tarifa (a la tarifa nocturna, por ejemplo) requiere una modificación del aparato de medida que tiene que ser realizada por un técnico desplazado hasta el domicilio del cliente, con el gasto que ello supone.

- Mayores parámetros medidos. Energía activa, reactiva, potencia activa, reactiva, tensión eficaz.



- Control de la potencia demandada. Si la demanda excede la contratada, se procederá al corte del suministro.

Esta funcionalidad es muy interesante en localidades con fuertes picos en la demanda. Si hay muchos domicilios que consumen más de la potencia que tienen contratada al mismo tiempo se produce una demanda para la que no están preparadas las instalaciones (los transformadores y sus protecciones). El resultado es un apagón. Los nuevos contadores ayudarán a que esto no suceda cortando el consumo de algunos domicilios, antes de que se produzca el apagón.

- Gestión de la conexión/desconexión del suministro. No será necesario enviar un técnico al domicilio para conectar o desconectar la corriente, se podrá realizar desde un ordenador en el centro de gestión. Agilizándose así las altas de nuevos contratos, y también las bajas.

- Alarmas Antifraude. Dada las características de los contadores no es posible manipularlos manualmente, es necesario un aparato electrónico especialmente diseñado al efecto.

- Mayor rapidez en la detección e identificación de incidencias. Las incidencias podrán detectarse en el mismo momento en el que se produzcan permitiendo a la compañía el solucionar los problemas con mayor inmediatez.

- Posibilidad de mejorar la explotación de la red.
- Respuesta a las demandas de información en tiempo real.

3.1.7.2 Para el cliente.

- Proporciona lecturas reales inmediatas y a distancia de dicho consumo. Se evita de esta forma las lecturas y facturaciones estimadas. Especialmente útil cuando el contador no está accesible.



- A diferencia del contador tradicional, que totaliza la energía que se utiliza durante un periodo de tiempo comprendido entre una lectura y la lectura siguiente, el contador inteligente guarda la cantidad de energía que se está utilizando en cada una de las horas del día, con lo cual el cliente podrá ver cuáles son los hábitos de consumo a lo largo de su día a día.
- El precio del mercado mayorista se está fijando hora por hora, y en cada hora hay un precio diferente, si el contador no es capaz de registrar que energía se está utilizando hora por hora, no servirá de nada desplazar consumo de horas caras a horas baratas, el cual es el único medio para que el cliente pueda beneficiarse de la nueva tarificación por horas y rebajar así la factura de la luz.
- Además de la tarificación horaria, el Smart Meter actúa como terminal interactivo de redes inteligentes, como Landis Gyr ya ha demostrado en miles de hogares europeos. En ellos, una pequeña pantalla digital informa en tiempo real del consumo de electricidad y gas, avisa con colores de la tarifa que se está aplicado e incluso advierte al cliente, con mensajes a su teléfono móvil o a su correo electrónico, de que su consumo comienza a ser penalizado.
- Posibilidad de optar entre diferentes tarifas adecuadas al propio consumo puesto que se prevé que habrá un catálogo mayor de ofertas más flexibles y personalizadas.

Es esperanzador e inquietante a la vez, pensar que el maremágnum de tarifas que existe en la telefonía móvil se pueda trasladar a nuestra factura eléctrica. Según ha explicado Francisco Javier Jiménez Tato, consejero delegado de Landis Gyr para España y Portugal: El Smart Meter ayudará a que en muy pocos años las tarifas de la electricidad y del gas sean similares a las que ya existen para la telefonía móvil, con ofertas "mucho más atractivas", basadas en tramos de horarios "flexibles".



- En el momento en el que la red de contadores inteligentes esté en plena operación, cliente podrá hacer a distancia y con mucha mayor rapidez cualquier operación relacionada con su instalación tales como las altas, bajas, cambios en la tarifa o potencia contratada o reconexiones del suministro.
- Mayor información para el consumidor, lo que puede repercutir en ahorros de consumo en los consumidores concienciados con el ahorro energético. Estos consumidores aprenderán a consumir menos y mejor, de una manera mucho más eficiente y con un impacto claro en la preservación del medio ambiente.
- Posibilidad de compra, ya que se podrá optar entre comprar los nuevos contadores o alquilarlos.
- Se le considera la puerta de entrada a un hogar inteligente.

3.1.8 Situación actual y futura de los Contadores Inteligentes.

A pesar de que existen múltiples contadores inteligentes ya instalados ahora mismo en España, no se están utilizando aún con teledividida.

Es decir, la misma persona que hasta ahora iba a hacer la lectura del contador electromecánico, en lugar de apuntarse un dato que está en el contador tradicional, lo que hace es descargarse una curva de consumo en un ordenador.

Como ya hemos mencionado en puntos anteriores, la ley exige que los contadores sean todos contadores digitales a finales de 2018, pero un aspecto que todavía está por ver y aún no está legislado es cuál es la obligatoriedad de que tales contadores estén equipados con dicha capacidad de teledividida, es decir con la capacidad de medir el consumo a distancia y en tiempo real, precisamente su justificación para la necesidad de cambio al mismo.

Cuando estos equipos estén dotados de la telemetría, la extracción de datos se hará obviamente de manera telemática. Lo importante entonces será, que todos los usuarios de dicha tecnología, tengan acceso a estos datos.

Contar con esta información, es lo que proporcionará la capacidad al consumidor para gestionar cual es la utilización de la energía de su vivienda. El usuario podrá entonces, conociendo aquellas horas en las que la electricidad es más cara, medir las horas de mayor consumo y diseñar planes de ahorro que se ajusten a sus necesidades de consumo.



Figura3. Aplicación futura en el móvil para gestionar el consumo de luz a partir de los datos proporcionados por tu contador inteligente.

Finalmente ante esta situación, en la que la información se intercambia entre compañía eléctrica y consumidor, cabría la posibilidad de que alguien interviniera en el proceso de transferencia de estos datos, por lo cual será muy importante que las aplicaciones que puedan acceder a este tipo de datos tengan muy en cuenta que tienen que estar bien protegidos y encriptados.



3.2 Redes de Sensores Inalámbricos.

3.2.1 ¿Qué es un Sensor?

Un sensor es un dispositivo que relaciona el mundo físico (real) con el mundo digital, capturando y revelando un fenómeno físico y convirtiéndolo a un formato diferente (señal eléctrica), que pueda ser procesado y/o almacenado de forma relativamente más fácil.

El proceso a seguir es básicamente el siguiente:

- Un fenómeno físico a ser medido es captado por un sensor, y muestra en su salida una señal eléctrica dependiente del valor de la variable física.
- La señal eléctrica es modificada por un sistema de acondicionamiento de señal, cuya salida es un voltaje.
- El sensor dispone de una circuitería que transforma y/o amplifica la tensión de salida, la cual pasa a un conversor A/D, conectado a un PC. El convertidor A/D transforma la señal de tensión continua en una señal discreta.

Integrados en distintos dispositivos y entornos, los sensores nos proporcionan grandes beneficios ya que gracias a la información que como resultado nos proporcione, se pueden deducir otras variables que no sean precisamente las que está midiendo.

Además pueden proporcionar información de gran ayuda a la hora de evitar fallos catastróficos en las infraestructuras, conservar recursos naturales, aumentar la productividad, aumentar la seguridad y posibilitar la creación de infinidad de nuevas aplicaciones.



3.2.2 El sensor inalámbrico.

Si bien precisamente se llaman sensores porque “sienten” o captan alguna condición que les permita funcionar para lo que han sido diseñados, una nueva rama de sensores son los de *Wireless Network*, es decir, sensores que utilizan conexiones inalámbricas (sin utilización de cables) para su activación y funcionamiento.

En este caso, también puede medirse por ejemplo la temperatura o la intensidad lumínica, pero esta vez se trata de sensores computarizados y conectados a una red de computadoras que le permite transformar sus variaciones en señales electrónicas.

Un sensor inalámbrico no es solamente un componente para sensar, sino que tiene que ser capaz de procesar señales, de comunicarse y de realizar otras funciones específicas según la aplicación requerida en cada caso.

Las modernas pantallas táctiles constituyen un interesante ejemplo de sensores cotidianos y duales, esto es, no sólo “sensan” datos para su procesamiento, sino que “devuelven” información. Por consiguiente, los sensores permiten además utilidades bidireccionales, dado que puede efectuar una transducción en una u otra dirección.

Cuando muchos sensores monitorizan conjuntamente un mismo entorno físico, se dice que forman una red de sensores inalámbricos, o WSN (Wireless Sensor Network).

Los sensores se comunican entre sí y con la estación base (BS) mediante comunicación radio, permitiendo difundir los datos que han obtenido hasta llegar a los sistemas de procesado, visualización, análisis y almacenamiento, que por lo general estarán ubicados en lugares alejados de la red.



3.2.2.1 Estándares para una WSN.

La conocida familia de estándares IEEE 802.11 fue introducida en el año 1997 y es la tecnología de redes inalámbricas más común en la actualidad. IEEE 802.11b y IEEE 802.11g trabajan en la banda de 2.4 GHz y IEEE 802.11a en la de 5 GHz. IEEE 802.11 fue usada en las primeras redes de sensores inalámbricos pero debido al elevado consumo de energía de estas redes, no es idóneo para las redes de sensores de bajo consumo. El protocolo IEEE 802.15.4, fue creado específicamente para comunicaciones de corto alcance en redes de sensores de bajo consumo y para entornos hostiles y medios compartidos en los que puede ocurrir que haya colisiones de tramas, que exista ruido o que las tramas no lleguen correctamente. La relación entre IEEE 802.15.4-2003 y ZigBee es parecida a la existente entre IEEE 802.11 y Wi-Fi Alliance. La especificación 1.0 de ZigBee se aprobó el 14 de diciembre de 2004 y está disponible a miembros del grupo de desarrollo (ZigBee Alliance).

3.2.2.2 Wi-Fi.

La tecnología Wi-Fi es una clase de red de área local (WLAN) basada en el estándar IEEE 802.11. Wi-Fi, que significa "Fidelidad inalámbrica", es el nombre de la certificación otorgada por la Wi-Fi Alliance, grupo que garantiza la compatibilidad entre dispositivos que utilizan el estándar 802.11.

Hoy en día, esta tecnología está instalada en muchos ordenadores personales, vídeo consolas, teléfonos móviles, impresoras, y muchos otros periféricos. Mediante esta tecnología los dispositivos son capaces de hacer todo tipo de cosas, desde mandar e-mails, video streaming o conectar a Internet desde un avión. Por otra parte, los proveedores de Wi-Fi están comenzando a cubrir áreas con una gran concentración de usuarios (como estaciones de trenes, aeropuertos y hoteles) con redes inalámbricas.



Con Wi-Fi se pueden crear redes de área local inalámbricas de alta velocidad siempre y cuando el equipo que se vaya a conectar no esté muy alejado del punto de acceso. En la práctica, Wi-Fi admite cualquier tipo de dispositivo de alta velocidad con propiedades de conexión también de alta velocidad (11 Mbps o superior) dentro de un radio de varias docenas de metros en ambientes cerrados (de 20 a 50 metros en general) o dentro de un radio de cientos de metros al aire libre.

3.2.2.2.1 Rango y flujo de datos de los estándares más conocidos.

Los estándares 802.11a, 802.11b y 802.11g, llamados "estándares físicos", son modificaciones del estándar 802.11 y operan de modos diferentes, lo que les permite alcanzar distintas velocidades en la transferencia de datos según sus rangos.

Estándar	Frecuencia	Velocidad	Rango
Wi-Fi (802.11a)	5 Ghz	54 Mbit/s	10 m
Wi-Fi (802.11b)	2,4 Ghz	11 Mbit/s	200 m
Wi-Fi (802.11g)	2,4 Ghz	54 Mbit/s	75 m

Tabla1. Ghz, Mbit/s y m de los estándares 802.11a, 802.11b y 802.11g.

3.2.2.2.2 Ventajas de la tecnología Wi-Fi.

- La tecnología Wi-Fi permite crear redes de área local (LANs) inalámbricas (WLANs) de una manera muy sencilla, reduciendo potencialmente los costos de despliegue de la red y expansión de la misma. En espacios donde los cables no pueden instalarse, como las áreas al aire libre y los edificios históricos, pueden organizarse LANs inalámbricas.



- Los productos de Wi-Fi están extensamente disponibles en el mercado, por lo prácticamente todos los dispositivos con posibilidad de interconectarse traen Wi-Fi de serie. Esto a su vez, hace que cada vez sea más barata ya que la competencia entre vendedores ha bajado los precios considerablemente desde que empezó a expandirse esta tecnología.
- Las redes Wi-Fi soportan Roaming (Cambio de Cobertura) en donde una estación móvil como por ejemplo un computador portátil puede moverse de un punto de acceso a otro en donde el usuario se mueve alrededor de un edificio o área.
- Muchos puntos de acceso e interfaces de red soportan varios grados de encriptación para proteger el tráfico de interceptaciones.
- Información en tiempo real en cualquier lugar de la organización o empresa para todo usuario de la red.
- Escalabilidad: El cambio de topología de red es sencillo y trata igual pequeños o grandes conjuntos de redes.
- Permite el uso múltiple de la red por varios usuarios al mismo tiempo.

3.2.2.2.3 Desventajas de la Tecnología Wi-Fi.

- Uno de los problemas de la tecnología Wi-Fi es la saturación del espectro radioeléctrico, ya que las condiciones de emisión de las redes deberían estar reguladas para no interferir con otras, pero en la mayor parte de los casos esto no se hace. Es decir, no acepta la interferencia de otras fuentes, interferencia que causa que los dispositivos no funcionen.



- Los estándares 802.11b y 802.11g usan la banda Wi-Fi 2.4GHz que no necesita licencia y que esta atestada con otros dispositivos inalámbricos que usan la misma banda como Bluetooth, los hornos del microondas, los teléfonos inalámbricos, etc.
- Las asignaciones del espectro y las limitaciones operacionales no son consistentes mundialmente; la mayoría de Europa permite 2 canales adicionales más allá de aquéllos permitidos en Estados Unidos; Japón tiene uno más encima de esos, y algunos países como España, prohíben el uso de los canales de baja numeración. Además algunos países, como Italia, requieren una “autorización general” para cualquier uso de Wi-Fi fuera de las propias premisas de un operador, o requiere algo semejante a un registro de operador.
- El consumo de electricidad es bastante alto comparado con otros estándares, haciendo la vida de la batería corta y calentándola también.
- El estándar de encriptación inalámbrico más común, el WEP (Wired Equivalent Privacy) es reconocido por que se ha violado su seguridad. Por tanto, las comunicaciones están al alcance de terceros, y esto crea problemas de seguridad. Pese a que existen diferentes técnicas y cifrados disponibles con la tecnología Wi-Fi para mejorar la seguridad, es conveniente además utilizar técnicas como el filtrado de MAC y ocultación del punto de acceso, para mejorar la seguridad.
- Interferencia de puntos de acceso cerrados o encriptados con otros puntos de acceso abiertos con el misma banda o siendo vecino puede prevenir el acceso a los puntos de acceso abiertos por otros en el área. Esto puede proponer un problema en las áreas de alto-densidad como edificios de apartamentos grandes dónde muchos residentes tienen puntos de acceso de Wi-Fi operando.



- Los puntos de acceso gratis podrían ser usados para robar información personal por usuarios maliciosos de la red Wi-Fi. Además de que los puntos de acceso mal configurados pueden usarse por usuarios que anónimamente comienzan un ataque que sería imposible de rastrear más allá del dueño del punto de acceso.
- La interoperabilidad entre marcas o desviaciones en los estándares puede causar limitar las conexiones o bajar las velocidades de transmisión.
- Las redes Wi-Fi tienen limitado el rango de alcance.

3.2.2.3 Bluetooth.

Bluetooth es un enlace de radio de corto alcance, un protocolo inalámbrico abierto pensado para reemplazar las viejas conexiones por cable(s) e intercambiar así datos en distancias cortas entre dispositivos móviles y fijos.

La tecnología Bluetooth comprende hardware, software y requerimientos de interoperabilidad, por lo que para su desarrollo ha sido necesaria la participación de los principales fabricantes de los sectores de las telecomunicaciones y la informática, tales como: Ericsson, Nokia, Toshiba, IBM, Intel. Posteriormente se han ido incorporando muchas más compañías. E incluso lo empiezan a hacer también empresas de sectores tan variados como los de la automatización, industria, maquinaria, ocio y entretenimiento, fabricantes de juguetes, electrodomésticos, etc., con lo que en poco tiempo se nos presentará un panorama de total conectividad de nuestros aparatos tanto en casa como en el trabajo.

El grupo **SIG** (Bluetooth Special Interest Group) es el encargado de estandarizar las especificaciones de esta tecnología y reúne ya a más de 18.000 empresas.



Los principales objetivos que se pretende conseguir con esta tecnología son:

- Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos.
- Eliminar cables y conectores entre éstos.
- Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre nuestros equipos personales.

3.2.2.3.1 Características Técnicas de Bluetooth.

A continuación se presentan las principales características técnicas de Bluetooth:

- El nivel de sensibilidad real se define como el nivel de entrada para el cual se satisface un porcentaje de error de bit (BER) del 0,1%. Para cualquier transmisor Bluetooth, la sensibilidad del receptor será de -70 dBm o inferior.
- Topología: Las redes Bluetooth tienen una topología donde un dispositivo hace las veces de maestro y hasta siete dispositivos adicionales pueden operar como esclavos. Esta configuración se conoce como piconet. Un grupo de piconets es conocido como scatternet.
- Tasa de transmisión máxima: la velocidad de transferencia depende de la versión que se está utilizando, la versión 1.2 permite velocidades de hasta 720kbit/s, la versión 2.0 hasta 2,1 Mbit/s, la versión 2.1 hasta 3 Mbit/s y las más recientes permite velocidades de hasta 24 Mbit/s.
- Multiplexación: FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), que disminuye el riesgo de que las comunicaciones sean interceptadas o presenten interferencia con otras aplicaciones.



- Alcance máximo: dependiendo del tipo de dispositivo que utilicemos: el alcance máximo es de 100 m.
- Posibilidad de soportar transmisiones de voz y datos de manera simultánea.
- Posibilidad de transmisión Full Duplex.
- Bajo consumo energético.

3.2.2.3.2 Rango de operación.

La tecnología Bluetooth opera en la banda sin licencia ISM (Industrial, Scientific, Medical; Industrial, Científica, Medicinal) entre 2,4 GHz y 2,485 GHz.

A continuación mostramos dicho rango en función del lugar de aplicación:

Lugar	Rango de Frecuencia (Ghz)	Canales de RF
USA, Europa y mayoría de países	2.400 - 2.4835	$f = 2402 + k \text{ Mhz}$, $k=0, \dots, 78$
España	2.445 - 2.475	$f = 2449 + k \text{ Mhz}$, $k=0, \dots, 22$

Tabla2. Bandas de Frecuencia y canales de RF según lugar de aplicación.

El rango de alcance depende del tipo de dispositivos que estemos utilizando, en la siguiente tabla podemos ver una comparativa de los distintos dispositivos clasificados en tres clases:



Clase	Potencia máxima permitida (mW)	Potencia máxima permitida (dBm)	Rango aproximado (m)
Clase 1	100	20	100
Clase 2	2.5	4	10
Clase 3	1	0	1

Tabla3. Potencia Máxima y rango aproximado en función de la clase.

3.2.3.3.2 Ventajas del uso de la tecnología Bluetooth.

A continuación mencionamos algunas sus ventajas:

- El uso de la banda ISM a 2,4 GHz, permite la interoperabilidad de los dispositivos bajo esta tecnología en un gran número de países, de forma que el desarrollo del mercado se ve favorecido.
- Bluetooth utiliza la tecnología de salto de frecuencia adaptable AFH (Adaptative Frequency Hopping) que fue diseñada para evitar las interferencias entre dispositivos que comparten la banda de frecuencias de 2,4 GHz. Esta tecnología comprueba si otros dispositivos están transmitiendo en su rango y evita las frecuencias que están siendo utilizadas.

Para efectuar esta comprobación realiza saltos entre 79 frecuencias a intervalos de 1MHz consiguiendo una transmisión más eficiente y más robusta frente a posibles interferencias de otros dispositivos que operen en la misma banda de frecuencias.

Asimismo, se destaca su **alto grado de privacidad y seguridad**, dado que la autenticación doble (desde ambos dispositivos) y el uso de ondas de radio hacen que sea muy complicado interferir la comunicación. En tal sentido, entonces, no solo es una tecnología práctica sino también muy segura.



- Bluetooth es un sustituto de conexiones cableadas para cantidades modestas de información. Posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes equipos, como por ejemplo entre teléfonos móviles y periféricos como micrófonos, manos libres de coches o para controlar equipos industriales, entre otras conexiones.
- Mediante este protocolo se pueden conectar varios dispositivos evitando problemas de sincronización.
- Permite comunicaciones, incluso a través de obstáculos, a distancias de hasta unos 10 metros.
- Finalmente, cabe recalcar que el Bluetooth consume muy poca energía, lo que ha facilitado su adopción en todo tipo de dispositivos móviles. Es que, teniendo en cuenta el estado actual de las baterías, lo cierto es que un bajo consumo de energía es esencial para este tipo de conexiones.

3.2.3.3 Desventajas de la tecnología Bluetooth

- Limitado radio de acción entre los periféricos. Bluetooth sólo tiene un alcance de 15 a 30 pies (4,5 a 9 metros) dependiendo del dispositivo.

El rango pequeño es una desventaja para algunos que pueden desear utilizar un dispositivo Bluetooth fuera de ese radio de 30 pies ya que luego de esa distancia no hay garantías de transmisión adecuada de datos.

- Limitación entre la cantidad de periféricos que podemos usar. Los adaptadores bluetooth solo permiten hasta 7 equipos pareados (término usado para definir los equipos que se pueden sincronizar y comunicar entre sí).



- Velocidad de transmisión muy lenta para transferencia de archivos pesados. La velocidad de transferencia lenta hace que Bluetooth no sea una opción ideal para la transferencia de datos cuando hay métodos de conexión más rápidos disponibles.
- Bluetooth opera en la banda libre ISM de los 2.4 GHz. En la mayoría de los países alrededor del mundo, el rango de dichas frecuencias va de los 2400 MHz a los 2483.5 MHz. Sin embargo, en algunos países, tienen limitaciones nacionales en ese rango de frecuencias.
- Gasta mucha energía de la batería, cuando está en el modo visible. Bluetooth utiliza la energía de la batería de un dispositivo en particular con el fin de operar.
- Cuando es usado inadecuadamente, podemos recibir mensajes y archivos indeseados.

3.2.2.4 ZigBee

Describe un protocolo inalámbrico normalizado para Redes de Área Personal o WPAN. Es diferente de los otros estándares inalámbricos porque ha sido diseñado para soportar un mercado de diversas aplicaciones que requieren comunicaciones seguras y fiables de baja transmisión de datos, bajo ciclo de servicio de conectividad, bajo coste y bajo consumo, con una conectividad más sofisticada que otros sistemas inalámbricos.

La razón de promover un nuevo protocolo como estándar es permitir la interoperabilidad entre dispositivos fabricados por compañías diferentes.



Los dispositivos provistos de esta tecnología, se alimentan mediante baterías que serían complicadas de recargar o cambiar. De hecho, en muchas aplicaciones el tiempo total que el dispositivo inalámbrico está activo es muy limitado. Por lo que pasa la mayor parte del tiempo en un modo de ahorro de energía llamado sleep mode, pudiendo alargar la vida de la batería hasta varios años. La red, en su conjunto, utiliza una cantidad muy pequeña de energía de forma que cada dispositivo individual pueda tener una autonomía de hasta 5 años antes de necesitar un recambio en su sistema de alimentación.

Por otro lado, el estándar ZigBee ha sido desarrollado por ZigBee Alliance (formada en el 2002 como una organización sin ánimo de lucro, abierta a todo el mundo que quiera participar), que tiene cientos de empresas asociadas, la mayoría de ellas fabricantes de semiconductores, con el objetivo de auspiciar el desarrollo e implantación de una tecnología inalámbrica de bajo coste, así como de promocionar eventos entre fabricantes dedicados a intentar mejorar la interoperabilidad entre marcas.

3.2.2.4.1 Rango de frecuencia y flujo de datos

Una de las formas más comunes para establecer un área de comunicación es mediante capas. Las redes de Zig Bee inalámbricas se establecen mediante un protocolo con las capas inferiores determinadas por el estándar IEEE 802.15.4 y las capas superiores definidas por el estándar Zig Bee.

Las características de nivel físico de la red se determinan por las especificaciones de la capa física. Por lo tanto, los parámetros tales como las frecuencias de operación, velocidad de datos, los requisitos de sensibilidad del receptor y los tipos de dispositivos, se especifican en la norma IEEE 802.15.4.

En el IEEE 802.15.4. Se contemplan 3 bandas de frecuencia:

- Banda de 868 MHz (868 – 868.6 MHz).
- Banda de 915 MHz (902 – 928 MHz).
- Banda de 2.4 GHz (2400 – 2483.5 MHz)

La banda de 868 MHz es utilizada en Europa para una serie de aplicaciones incluyendo la creación de redes inalámbricas de corto alcance.

Las bandas de 915MHz y 2.4GHz son parte de la industria científica y las bandas de frecuencia médicas.

La máxima tasa de datos es de 250 Kbps.

	Frequency (MHz)	Number of Channels	Modulation	Chip Rate (Kchip/s)	Bit Rate (Kb/s)	Symbol Rate (Ksymbol/s)	Spreading Method
	868-868.6	1	BPSK	300	20	20	Binary DSSS
	902-928	10	BPSK	600	40	40	Binary DSSS
Optional	868-868.6	1	ASK	400	250	12.5	20-bit PSSS
	902-928	10	ASK	1600	250	50	5-bit PSSS
Optional	868-868.6	1	O-QPSK	400	100	25	16-array orthogonal
	902-928	10	O-QPSK	1000	250	62.5	16-array orthogonal
	2400-2483.5	16	O-QPSK	2000	250	62.5	16-array orthogonal

Tabla4. Velocidad de transmisión y rango de frecuencias en IEEE 802.15.4.

IEEE.802.15.4 postula que si un transceptor es compatible con la banda de 868 MHz, también lo será con la de 915 MHz. Por tanto estas dos bandas quedan agrupadas.



Existe una especificación obligatoria para estas bandas de 868/915 MHz y dos especificaciones opcionales. El requisito obligatorio es más fácil de implementar, pero con menor velocidad de transmisión (20 Kbps y 40 Kbps).

3.2.2.4.2 Ventajas de la tecnología ZigBee.

- El estándar ha adoptado IEEE 802.15.4 como su capa física y sus protocolos de control de acceso al medio, por lo tanto un dispositivo compatible con Zig Bee también es compatible con IEEE 802.15.4.
- Los requisitos mínimos para cumplir con las especificaciones de Zig Bee y IEEE 802.15.4 no son tan exigentes como los de otros estándares, lo que reduce la complejidad y el costo de la aplicación compatible con transceptores Zig Bee, que apunta a una pila de protocolo simplificada.
- Mientras que otras tecnologías inalámbricas están diseñadas para funcionar durante horas o quizá días en las baterías, ZigBee está diseñado para funcionar durante años. Y mientras que otras tecnologías inalámbricas proporcionan de 12 a 24 meses de vida útil de un producto, productos ZigBee pueden proporcionar décadas de uso.
- Para dotar a la red de la máxima seguridad posible, ZigBee usa el estándar AES-128 del NIST (National Institute of Standards and Technology). AES son las siglas de Advanced Encryption Standard. Este estándar es un bloque de cifrado que encripta los paquetes de forma que es muy difícil que alguien ajeno a la comunicación pueda descifrar su contenido, además de ofrecer autenticación para asegurar que los paquetes son propios de la red.
- Una red ZigBee puede estar formada por hasta 65.535 nodos en subredes de 255 nodos, los cuales están la mayor parte del tiempo dormidos con objeto de consumir menos energía que otras tecnologías inalámbricas.



- Es un estándar fiable y reconocido internacionalmente, está libre de incumplimientos de patentes y que se puede implementar en procesadores de 8 bits.
- Con capacidad de interoperabilidad, ya que todos los dispositivos basados en ZigBee son capaces de comunicarse entre sí, aunque los mensajes que manden estén encriptados por cuestiones de seguridad.
- Reduce el coste de implementación simplificando los protocolos de comunicación y reduciendo la velocidad de datos.
- Opera en la banda libre de ISM 2.4 Ghz para conexiones inalámbricas, por lo que no se debe pagar licencia.
- Diseñado para el direccionamiento de información y el refrescamiento de la red.
- Un mejor soporte para las redes más grandes, ofreciendo más opciones de gestión, flexibilidad y desempeño.
- Soporte para múltiples topologías de red: Estática, dinámica, estrella y malla.
- Las Redes cambian los canales en forma dinámica en caso que ocurran interferencias.
- Capacidad para dividir mensajes más largos y permitir la interacción con otros protocolos y sistemas.
- Óptimo para redes de baja tasa de transferencia de datos.



- Alojamiento de 16 bits a 64 bits de dirección extendida.
- Ideal para conexiones punto a punto y punto a multipunto
- Reduce tiempos de espera en el envío y recepción de paquetes.
- Detección de Energía (ED).

Dependiendo en gran medida de la aplicación se necesita una velocidad de transmisión determinada, pero si el objetivo de la comunicación inalámbrica es transmitir y recibir comandos simples y o recabar información de los sensores (como es el caso del proyecto). Zig Bee ofrece la mejor solución y la más rentable en comparación con Bluetooth y Wi-Fi.

3.2.2.4.3 Desventajas de la tecnología ZigBee.

- Zigbee a pesar de tener varios años de existencia y muchas ventajas en sus aplicaciones, no tiene compatibilidad en todos sus aspectos con tecnologías actuales como Bluetooth o Wi-Fi, porque no llegan a tener las mismas tasas de transferencia, ni la misma capacidad de soporte para nodos.

- Tiene menor cobertura porque pertenece a redes inalámbricas de tipo WPAN.

- La tasa de transferencia es muy baja.
- Solo manipula textos pequeños comparados con otras tecnologías.

3.2.2.5. Comparativa entre las tres tecnologías.

	WiFi	Bluetooth	Zigbee
Precisión	Rango de 1 a 5 metros según la complejidad del área	Media con alto número de emisores	Según densidad de balizas pero como máximo 1 -2 metros
Despliegue y calibración	1. Poca infraestructura 2. Implementación rápida y barata 3. Calibración rápida salvo con mapa de potencias	1. Despliegue barato con pocos emisores 2. Calibración muy sencilla	1. Despliegue sencillo y económico 2. Computación centralizada o distribuida en función de los algoritmos elegidos
Precisión escalable	Incrementando Aps	Incrementando el número de emisores	Incrementando balizas
Inmunidad frente a otros sistemas	Susceptible a interferencias	Susceptible a interferencias	Alta inmunidad en ambientes con baja SNR
Potencialidades	Tecnología extendida y de bajo coste	Consumo de energía bajo Coexistencia con otras redes bluetooth	Tecnología barata Alta presencia en la domótica
Limitaciones	Pérdida de señal debida a obstáculos o altos niveles de ruido	Para aumentar rango de alcance gran consumo de energía	Tiempo de computación elevado

Tabla5. Comparativa entre principales tecnologías inalámbricas.



3.3 Propagación RF

En los sistemas de comunicaciones inalámbricas terrestres podemos encontrar, por lo general, los siguientes elementos:

- **Emisor de radiofrecuencia.** Es el encargado de producir la información a transmitir y trata la señal de forma adecuada para que pueda ser enviada. En la mayoría de los casos, realiza funciones de amplificación y modulación de la señal.

- **Antena emisora.** Es la encargada de transmitir la señal modulada y difundirla al espacio. La señal, en forma de ondas electromagnéticas, se transmite a través del aire, salvando la distancia que las separa de su destino gracias a las sucesivas reflexiones que se producen al rebotar en la ionosfera.

- **Estaciones terrestres de distribución de señal.** Como las ondas van perdiendo intensidad a medida que se propagan, con lo que la señal se va debilitando, se suelen intercalar entre el emisor y el receptor una o varias estaciones repetidoras (según la distancia de separación).

Dichas estaciones reciben la señal y se encargan de adaptarla, eliminando posibles interferencias, y de amplificarla, para que de esta manera la señal pueda llegar a su destino en condiciones óptimas.

- **Antena receptora.** Recibe señales de muchas frecuencias por lo que su ancho de banda de recepción debe ser muy ancho y las señales que reciben suelen ser débiles por lo que deben ser posteriormente amplificadas.

- **Receptor de radiofrecuencia.** En él se demodula y reconstruye la información transmitida.

En las comunicaciones inalámbricas, como es nuestro caso, la información se emite mediante ondas que se propagan a través del aire.

Su carencia de límites físicos, puede afectar negativamente a la comunicación entre emisor y receptor, por factores tales como el ruido o las propias interferencias de la banda de frecuencia utilizada (2.4 Ghz, 868 Mhz, 915 Mhz), dificultando considerablemente la correcta recepción del mensaje. Estos factores serán pues los que determinen la calidad del mensaje recibido.

Es por ello que entender la propagación y sus características en un entorno, así como los factores que puedan interferir en ella, es esencial para implementar y resolver problemas de este tipo de redes y lograr así una comunicación satisfactoria.

3.3.1 Atenuación.

La potencia de la señal se distribuye sobre un frente de onda de área cada vez mayor a medida que nos alejamos del transmisor, por lo que la densidad de potencia disminuye. En consecuencia, la cantidad de ondas por unidad de área es menor.

Ante esto deberá tenerse en cuenta que: la señal recibida debe tener la suficiente fuerza para ser interpretada correctamente por el receptor, la señal debe mantener un nivel más alto que el ruido para ser recibido sin error y si la atenuación es más alta a altas frecuencias provocará distorsión.

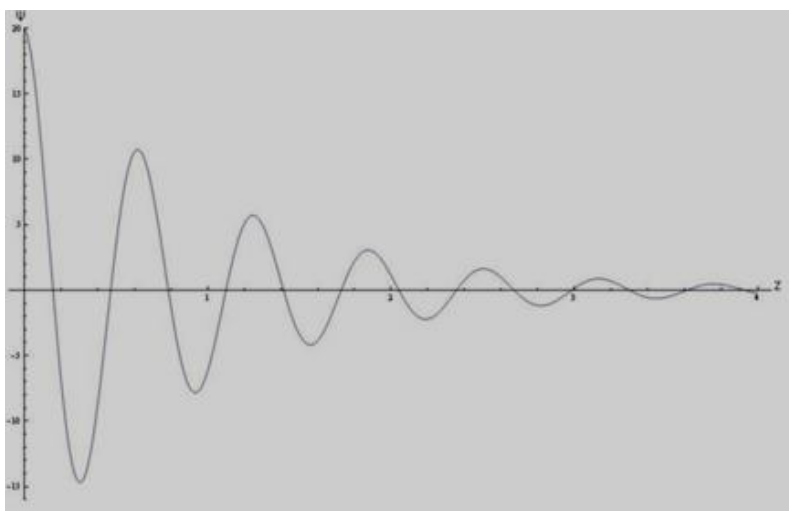


Figura4. Fenómeno de Atenuación.

Ref. (<http://propagaciondeondascom1.blogspot.com.es/2012/11/atenuacion-y-absorcion-de-ondas.html>)

3.3.2 Absorción.

Ocurre cuando una señal choca con un objeto y es absorbida en el material del mismo, de forma tal que no pasa a través de él.

La causa de la absorción de las ondas electromagnéticas al viajar por el aire es que el aire está formado por átomos y moléculas de distintas sustancias gaseosas, líquidas y sólidas, que pueden absorber a las ondas electromagnéticas causando pérdidas por absorción.

La cantidad de potencia perdida va a depender de su frecuencia y por supuesto, del material.



Figura5. Fenómeno de Absorción.

Ref.(<http://redes-moviles-e-inalambricas.wikispaces.com/Factores+que+afectan+la+transmisi%C3%B3n+inal%C3%A1mbrica>)

3.3.3 Reflexión.

La reflexión de una onda es el rebote que experimenta cuando llega a un obstáculo. Aunque el obstáculo absorba parte de la energía, se produce también reflexión, en la que se transmite de vuelta parte de la energía a las partículas del medio incidente. Es decir, parte o la totalidad de la energía incidente en la superficie de separación de los medios, vuelve al medio del cual proviene.



Figura6. Fenómeno de Reflexión.

Ref.(http://www.juntadeandalucia.es/averroes/iespicasso/doc_joomla/departamentos/fisica/luz.sonido/LUZ_Y_SONIDO_2%C2%BAESO/luz%20y%20sonidos/LUZ%20Y%20SONIDO/luzpropiedades.html)

3.3.4 Refracción.

La refracción se produce cuando en su desplazamiento, la onda cambia de dirección y de medio. Esto sólo será posible si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios y si estos tienen índices de refracción distintos.

En este fenómeno, a diferencia de la reflexión, el ángulo de la onda incidente y el ángulo de la onda refractada son distintos.

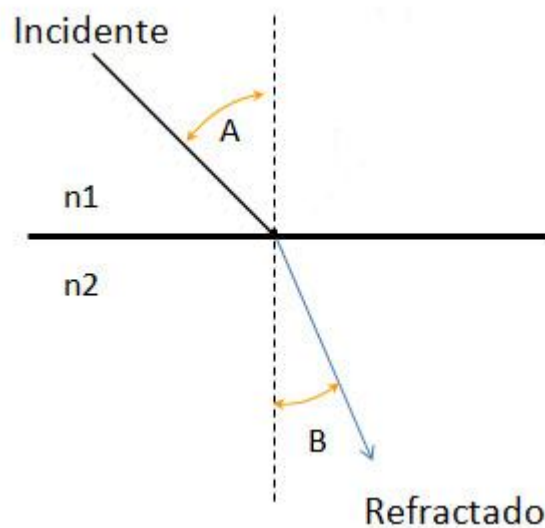


Figura7. Fenómeno de Refracción.

Ref. (<http://victortabernero.wordpress.com/2010/02/10/fotografiando-peces-plateados/>)

3.3.5 Difracción.

La difracción ocurre cuando la trayectoria de radio entre el transmisor y el receptor está obstruida por una superficie que tiene irregularidades agudas (bordes).

Para que se produzca, la longitud de onda es mayor que las dimensiones del objeto, por tanto, los efectos de la difracción disminuyen hasta hacerse indetectables a medida que el tamaño del objeto aumenta comparado con la longitud de onda.

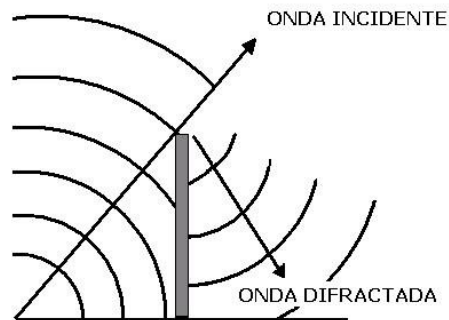


Figura8. Fenómeno de Difracción.

Ref. (http://autoaudio.blog.com.es/2005/12/23/modulo_1_acustica_3ra_entrega~409684/)

3.3.6 Dispersión.

La dispersión, se produce cuando las ondas electromagnéticas inciden sobre una superficie rugosa. Generalmente, todos los medios materiales son más o menos dispersivos y si la variación en una superficie es mayor que $\lambda/8$, la superficie se considera rugosa.

Si hay muchos objetos en la trayectoria de la señal, y los objetos son relativamente pequeños comparados con la longitud de onda de la señal, entonces el frente de onda propagado se distribuirá en múltiples direcciones, sumándose a las interferencias constructivas y destructivas de la señal.

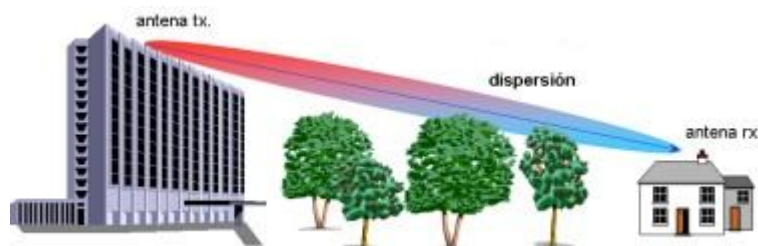


Figura9. Fenómeno de Dispersión.

Ref. (<http://html.rincondelvago.com/estudio-de-propagacion-de-ondas.html>)

3.3.7 Multi-trayecto.

A causa de los fenómenos descritos anteriormente, las señales llegan al receptor a través de diferentes caminos, y por consiguiente en tiempos diferentes.

Por cada uno de estos caminos la señal llegará en un momento determinado, con una potencia y una fase determinadas que se sumarán en el receptor formando la señal recibida. El número de trayectorias diferentes en un punto dado del espacio dependen de la forma y la estructura del edificio.

Este fenómeno juega pues un papel muy importante en las comunicaciones inalámbricas por los retardos e interferencia que provocan.

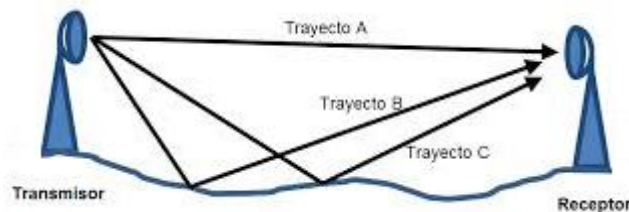


Figura10. Propagación Multitrayecto.

Ref. (<http://albertia.wordpress.com/2013/09/05/modulacion-ofdm/>)

3.3.8 Ruido.

Es el resultado de diversos tipos de perturbación que tiende a enmascarar la información cuando se presenta en la banda de frecuencias del espectro de la señal, es decir, dentro de su ancho de banda.

Toda señal no deseada que se mezcla con la señal útil que queremos transmitir, será considerada ruido.

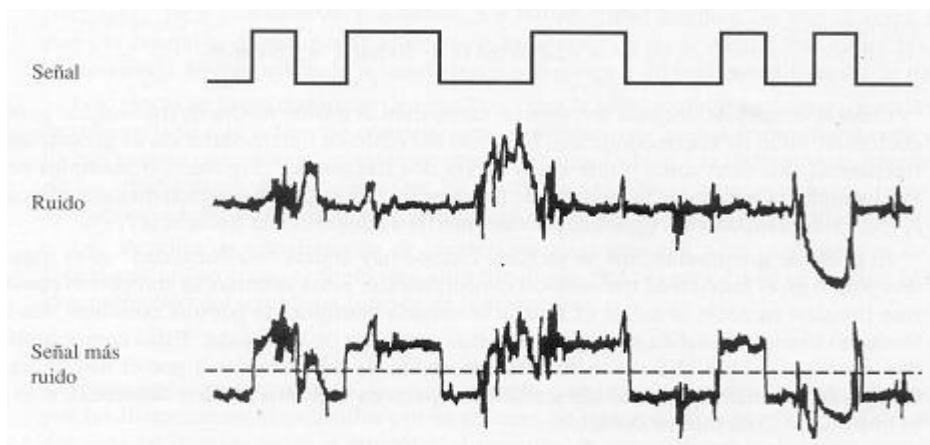


Figura 11. Influencia del Ruido sobre una señal.

Ref. (<http://luisantoniosh.blogspot.com.es/2012/08/afectaciones-en-la-transmision-de.html>)

3.4 Modelos de Propagación.

Como ya se ha descrito anteriormente, la señal emitida por el emisor va a experimentar múltiples transformaciones en su camino a lo largo de su trayectoria por el medio de propagación, llegando al receptor solo una pequeña parte de la señal original.

La ruta que sigue la señal puede ser desde una simple y sencilla línea de vista hasta un escenario complejo en el cual existan una gran cantidad de obstáculos. Esto hace muy difícil predecir la señal recibida en un determinado punto o analizar el canal de radio.

Los modelos de propagación se han enfocado en predecir la potencia de la señal recibida a una distancia determinada del transmisor, así como su variación en la proximidad espacial de un punto de interés particular. Considerándose por ello como una representación simplificada de la realidad, por medio de un conjunto de restricciones e hipótesis, cuyo desempeño se medirá por la veracidad de los resultados en comparación con medidas de campo reales.

La ventaja de modelar radio canales teniendo en cuenta las características de la trayectoria entre Transmisor (Tx) y Receptor (Rx), es conocer la viabilidad de los proyectos que se deseen planear en determinados sectores, de esta manera se podrá hacer



una estimación acerca de la necesidad, costos y capacidad de los equipos requeridos (especificaciones técnicas).

3.4.1 Clasificación de los modelos de propagación.

Los modelos de propagación de radio se pueden clasificar según la zona de cobertura en dos tipos principales: modelos outdoor y modelos indoor.

Existen más modelos de propagación para sistema inalámbricos outdoor, debido a que la comunicación inalámbrica outdoor se viene utilizando desde hace mucho más tiempo, mientras que la propagación indoor es relativamente nueva, datándose las primeras investigaciones hacia los 80s.

3.4.1.1 Modelos Outdoor.

Surgen por la necesidad de modelar una zona geográfica de terreno irregular, para así predecir las pérdidas de la señal en el camino hacia el receptor. En ellos se tendrán en cuenta el perfil del terreno de la zona a modelar y la presencia de obstáculos exteriores tales como árboles, edificios, etc.

Ateniéndonos al tamaño de la zona de cobertura, los modelos outdoor se pueden dividir en modelos de propagación en zonas grandes o macroceldas, que cubren áreas del orden de varias decenas de Km, con emisiones de potencia de varias decenas de vatios y desde antenas bastante elevadas; y en zonas pequeñas o microceldas, en las que se cubren áreas del orden de metros, con emisiones de potencia del orden de 10 mW a 1W y antenas situadas a poca altura.

3.4.1.2 Modelos Indoor.



Debido a la masiva incursión de tecnología y sistemas de comunicación que operan en éste ambiente, tales como: WLAN, Bluetooth, Wifi, etc., la compresión y desarrollo de modelos en interiores es de vital importancia, sobre todo si se trata de predecir el tamaño de las áreas que se pueden cubrir con un único Tx y de planificar la ubicación de las celdas de modo que, aún utilizando la misma frecuencia, no se interfieran ni causen errores.

En este caso, se van a considerar los fenómenos de reflexión, dispersión o difracción, pero bajo condiciones mucho más variables que las que se acostumbra a considerar en el modelo anteriormente descrito.

Asimismo, la propagación no se verá influencia por el perfil del terreno, pero puede ser afectada por la estructura del edificio debido a los diferentes tipos de materiales utilizados para su construcción.

Por otra parte, la señal transmitida alcanzará al receptor por más de un camino o trayectoria, a causa de la presencia de obstáculos tales como ventanas, paredes, puertas del edificio, entre otros.

3.4.1.2.1 Modelos Empíricos.

Los modelos empíricos son aquellos que predicen cómo se ve afectada una señal pero no por qué lo está, por lo que no se logra entender la totalidad de un sistema, además de que puede tener menor capacidad predictiva.

Son fáciles y rápidos de usar pero su exactitud es poco fiable, ya que las influencias propias del entorno son tenidas en cuenta de manera implícita en su conjunto, sin ser reconocidas cada una de ellas de manera aislada.

La media cuadrática del error entre el valor estimado y el valor medido puede ser del orden de 10 a 14 dB, pero su eficiencia es satisfactoria computacionalmente.



3.4.1.2.2 Modelos Deterministas.

Se basan en principios fundamentales de la física en cuanto a la propagación de ondas de radio y a los fenómenos que la rodean.

Pueden ser aplicados en diferentes entornos sin que su precisión se vea afectada.

A diferencia de los métodos estadísticos, los métodos determinísticos necesitan un gran detalle en la descripción del entorno, por ello los algoritmos usados por estos modelos son generalmente muy complejos y computacionalmente poco eficientes. Pero si su implementación es correcta, proporcionan mejores resultados y con mucha mayor precisión en su predicción comparados con los modelos empíricos.

3.4.1.2.2.1 Lanzado de Rayos

En teoría, las características de la propagación electromagnética podrían ser calculadas resolviendo las ecuaciones de Maxwell, desafortunadamente, esto requiere unas operaciones matemáticas muy complejas y por tanto, un coste computacional extremadamente alto.

Por ello, existen otras técnicas, como el trazado de rayos que pese a que no resuelven exactamente las ecuaciones de Maxwell, proporcionan un muy buen resultado con un coste computacional sostenible.

Esta técnica, también conocido como Ray Launching, consiste en la distribución espacial uniforme, a partir de un trasmisor, de un número finito de rayos, con los que se pretende modelar la propagación de los frentes de ondas, así como su interacción con el entorno.



Para cada rayo se consideran las múltiples reflexiones y refracciones que pueda sufrir hasta alcanzar el receptor.

El número de estas reflexiones y refracciones a considerar dependerá del nivel de señal a partir de la cual una contribución pueda ser considerada como poco significativa, tras un periodo de tiempo determinado o tras un número limitado de interacciones con los obstáculos.

3.4.1.2.2.2 Software del lanzado de rayos.

Para la implementación de la técnica de trazado de rayos descrita anteriormente, se ha utilizado un programa de trazado de rayos en tres dimensiones, que ha sido desarrollado en su totalidad por la Universidad Pública de Navarra.

Este software ha sido programado con la herramienta matemática Matlab con la finalidad de utilizarse como una herramienta para el cálculo de la radiopropagación en entornos interiores.

El método de trazado de rayos en 3D que se ha utilizado se basa en el algoritmo Ray-Launching. En él cada rayo es computado individualmente y el campo eléctrico de cada píxel es la suma de todas las contribuciones de los rayos que atraviesan dicho píxel.

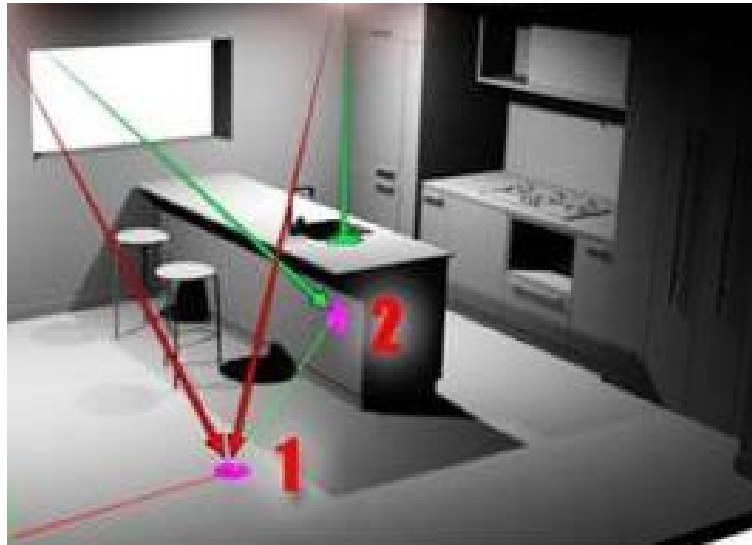


Figura12. Método de trazado de rayos en 3D.

Ref. (<http://users.salleurl.edu/~jherrero/Autodesk%20VIZ%204.htm>)

El algoritmo es recursivo en cada rayo, por lo que el tiempo de computación dependerá en gran medida tanto del incremento del ángulo de salida como de las reflexiones y refracciones permitidas.

Por otra parte, a la hora de construir el escenario se puede construir cualquier tipo de objeto que pueda ser simplificado en hexaedros. Asimismo para todos los objetos se define el material con el que están hechos y se pueden incluir también antenas emisoras y receptoras definidas mediante sus parámetros básicos (frecuencia, directividad, polarización, potencia salida, etc).

Algunas de sus ventajas son:

- Caracterización y modelado de cualquier tipo de objeto (ventanas, mesas, sillas, paredes, etc.) mediante su forma tridimensional y su constante dieléctrica.



- Análisis del escenario extrayendo parámetros tales como el campo eléctrico, la potencia, la relación señal-interferencia, el retardo potencia, etc.
- Modelado en tres dimensiones de todo tipo de habitaciones con diferentes formas y tamaños.
- Cálculo de las interacciones entre los rayos y los objetos teniendo en cuenta la polarización de la onda.
- Creación de entornos complejos tan grandes como se desee, múltiples plantas, múltiples edificios.
- Duración de la simulación de un rayo determinado, caracterizable mediante el número de rebotes y el retardo máximo.
- Modelado de la reflexión y refracción.
- Modelado de cualquier tipo de transceptor.

De igual manera posee algunas limitaciones cómo que no se han implementado todavía fenómenos tan importantes como la difracción y la dispersión o que la inclusión de objetos tales como esferas y cilindros no es posible ya que sólo admite la construcción de formas a partir de hexaedros.



4. Simulación y resultados

Mediante el algoritmo de trazado de rayos en tres dimensiones descrito anteriormente, se puede caracterizar la radiopropagación electromagnética en entornos indoor tal y como se pretende en el presente proyecto.

Podemos decir que para su ejecución se han llevado a cabo las siguientes fases:

4.1 Creación del escenario.



El escenario escogido para la realización de este proyecto se trata de seis bloque de tres edificios cada uno, que constituyen una ciudad creada específicamente para la implementación del presente proyecto.

Cada edificio cuenta con diferentes plantas. En cada una de ellas se ha considerado la existencia de dos viviendas con sus respectivas distribuciones indoor de paredes, ventanas y puertas.

Nota: Cualquier otra distribución se puede implementar también, en el caso de que así sea necesario.

Tras la familiarización con el programa, el primer paso fue el diseño de una primera planta. Esta primera planta se dividiría a su vez en dos viviendas que contarían con dos ventanas que dan al exterior y que se sitúan una opuesta a la otra, respectivamente.

Las características de los materiales, han sido incluidas para cada una de los elementos que componen la estructura de manera que el posible impacto de la selección de los mismos sea tenido en cuenta para su posterior estudio y análisis.

Así para las paredes se supone el hormigón, y el cristal para la parte correspondiente a las ventanas.

Dicha estructura se muestra en la siguiente figura:

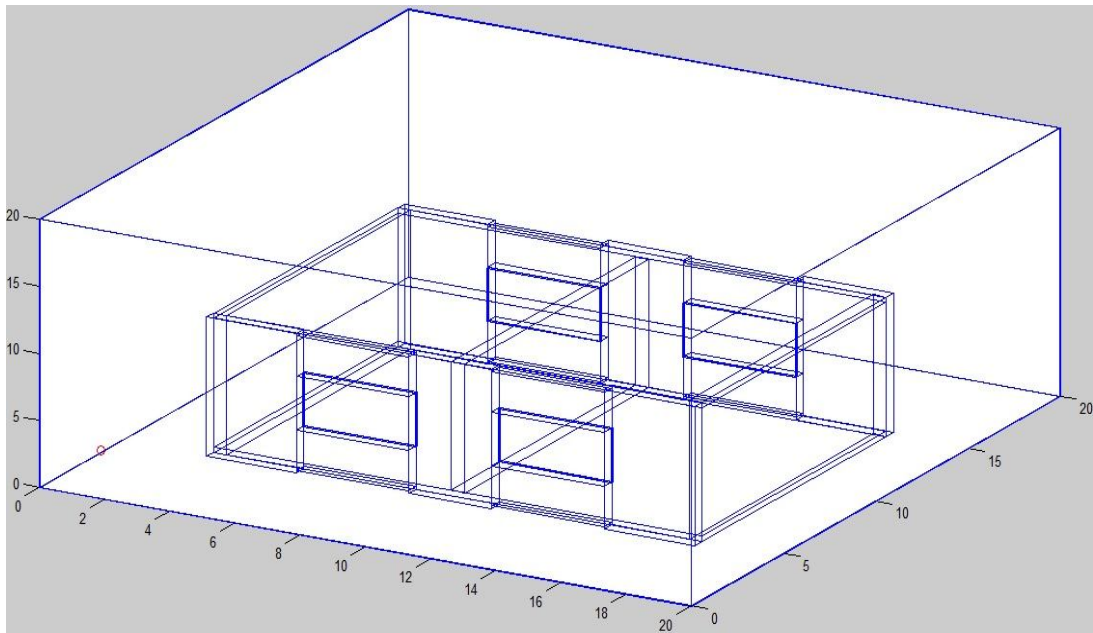


Figura13. Primera planta de uno de los edificio de la ciudad.

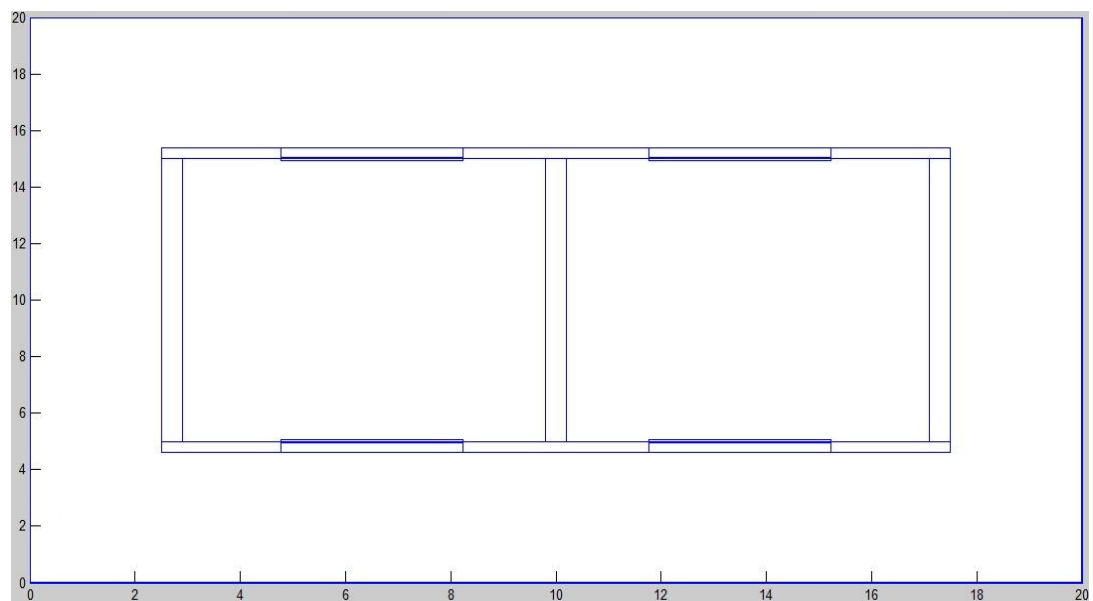


Figura 14. Vista desde arriba de la primera planta de uno de los edificios de la ciudad.

El siguiente paso fue aumentar el número de plantas del edificio. Se eligieron para ello un número total de 5 plantas.

El resultado del edificio completo se aprecia en la siguiente figura:

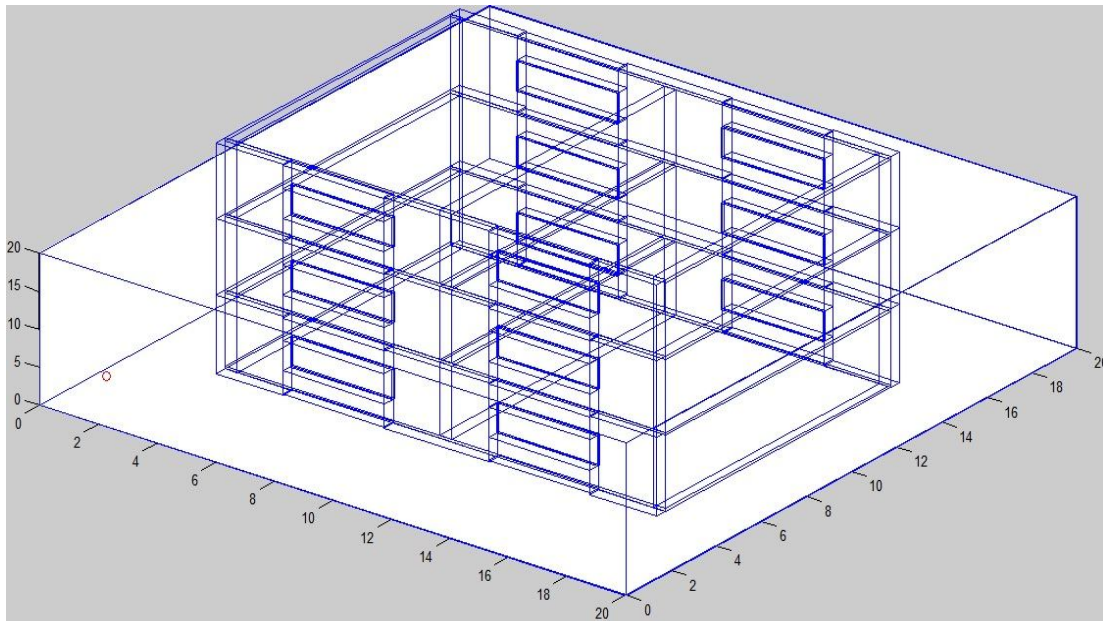


Figura15. Tres de las cinco plantas que componen uno de los edificios de la ciudad.

En este punto es importante mencionar que la función fabrica edificio que permite esta representación, se implementó de tal manera que la pared intermedia que separa la planta en dos viviendas pueda colocarse verticalmente, tal y como se aprecia en las figuras 13,14 y 15, pero admitiendo también la posibilidad de que se coloque de manera horizontal.

Nota: De las estas dos posibilidades, se eligió quedarse con la primera de ellas.

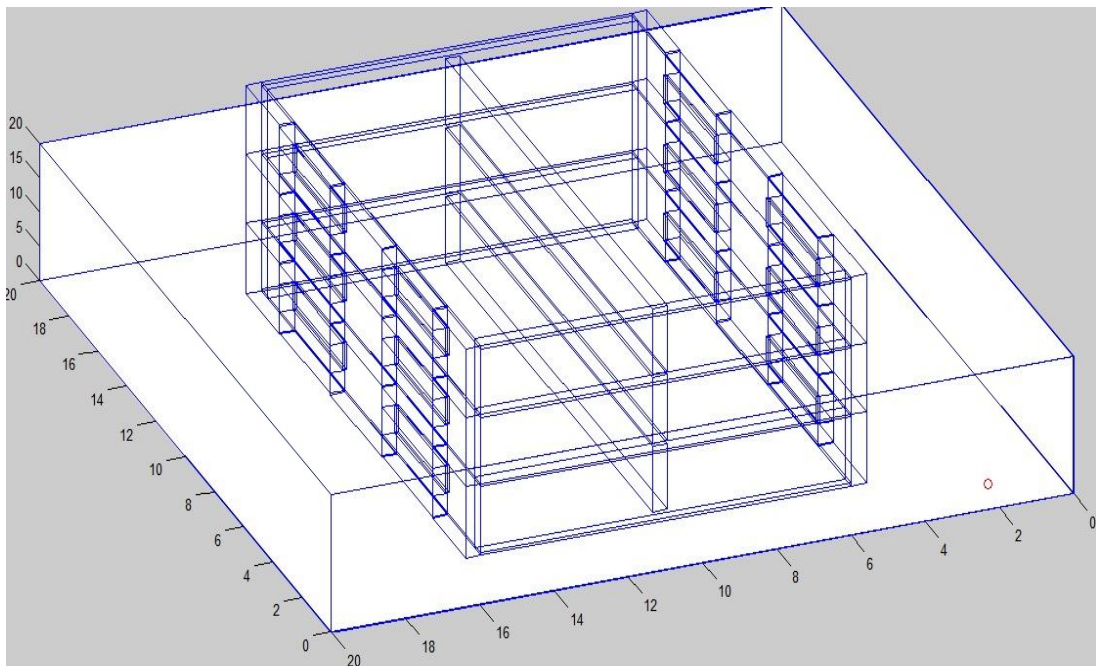


Figura16. Segunda opción para la pared intermedia que separa en dos las viviendas.

Con el edificio al completo se planteaba ahora una nueva tarea, la de distribuir más de un edificio a lo largo de una calle bajo el siguiente esquema:

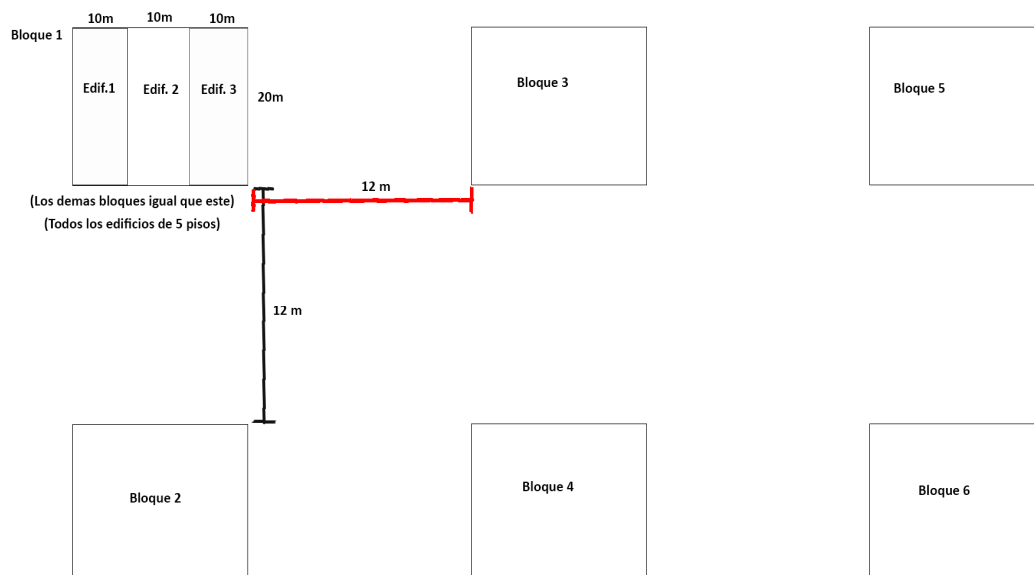


Figura17. Esquema de la distribución de la ciudad.

El resultado final es un escenario de medidas 120x58x20 (x,y,z en metros):

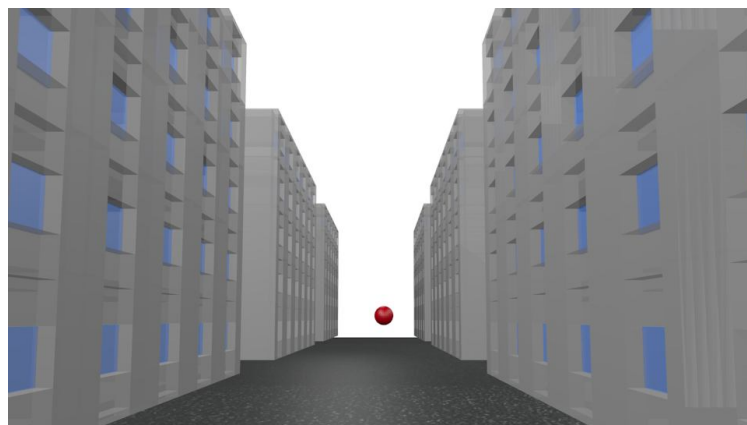
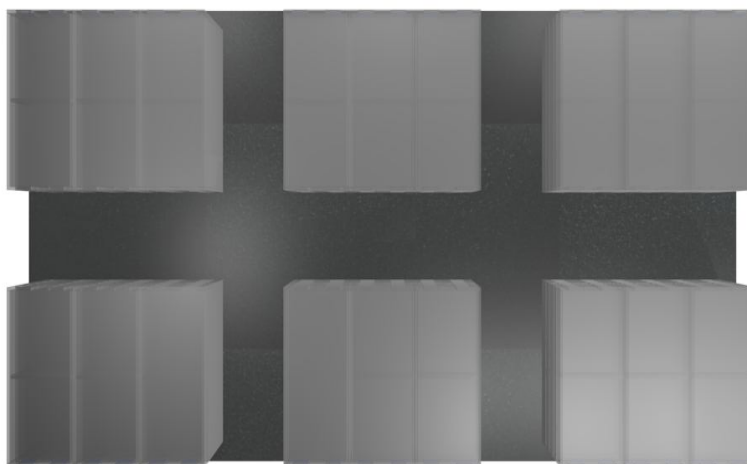
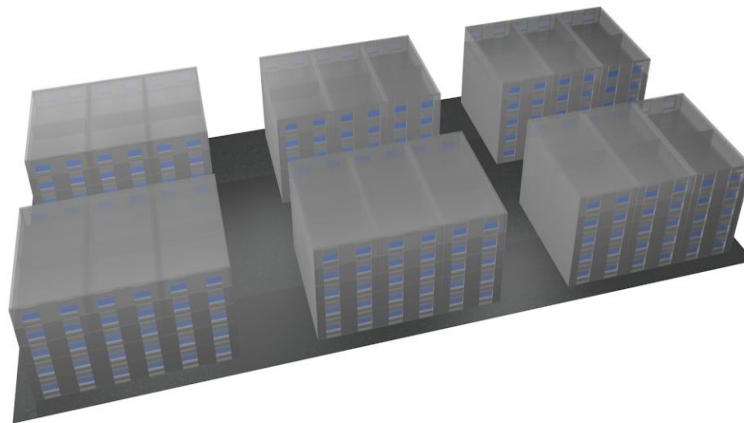


Figura18. Escenario completo desde diferentes ángulos visuales.

4.2 Simulación del trazado de rayos en tres dimensiones.

Como ya se ha mencionado anteriormente, el método de trazado de rayos que utiliza el software de la simulación, se basa en el algoritmo de Ray-Launching.

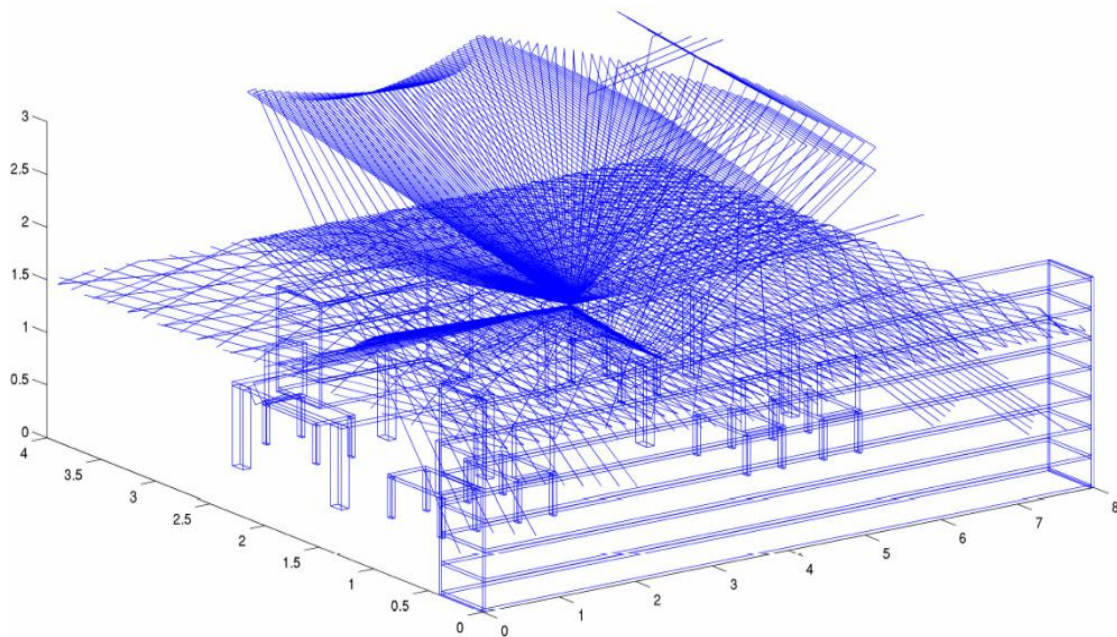


Figura19. Escenario interior en 3D con los rayos lanzados desde un transmisor situado en el centro.

En este, cada rayo se computa individualmente, y el campo eléctrico de cada punto del escenario es la suma de todas las contribuciones de los rayos que los atraviesan.

Al calcular la potencia recibida en cada punto del espacio, pueden crearse mapas de cobertura a una altura fija.

A continuación un ejemplo de lo anteriormente dicho, en el que un transmisor es localizado en el centro del escenario y los receptores de potencia pueden ubicarse en cualquier punto entre las calles y los edificios.

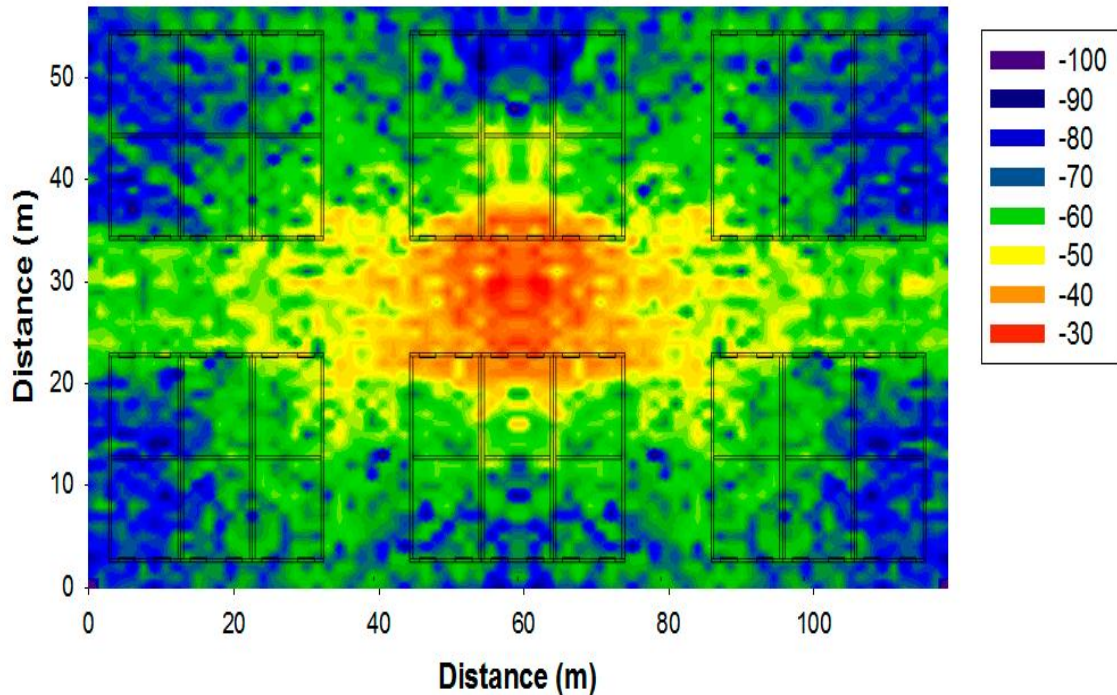


Figura20. Mapa de potencia recibida mediante trazado de rayos 3D, a una altura de 1 metro, con un único transmisor situado en el centro.

En nuestro caso concreto, es necesario asignar valores a ciertos parámetros relacionados con el trazado de rayos, como pueden ser:

- Las variaciones en ángulos del barrido.
- El número de rebotes de las señales.
- La frecuencia.
- O la resolución.

Parámetros que obviamente afectarán a los resultados del algoritmo.



Los parámetros tenidos en cuenta así como sus respectivas nomenclaturas y valores se muestran a continuación:

Parámetro	Nomenclatura	Valor
Ángulo Phi inicial	φ inicial	0
Incremento ángulo Phi	$\Delta\varphi$	$\pi/180$
Ángulo Phi final	φ final	$2*\pi-(\pi/180)$
Ángulo Theta inicial	θ inicial	0
Incremento ángulo Theta	$\Delta\theta$	$\pi/180$
Ángulo de Theta final	θ final	π
Número de Rebotes	n	6
Resolución eje x(m)	Δx	1
Resolución eje y (m)	Δy	1
Resolución eje z (m)	Δz	1
Potencia transmitida (W)	P_{tx}	1



Tabla6. Parámetros tenidos en cuenta a la hora de simular.

Conociendo el objetivo y requisitos de este proyecto y dado que no fue posible encontrar los valores reales de las frecuencias utilizadas por los contadores inteligentes del mercado actual, se han teniendo en cuenta tres frecuencias de operación distintas: 2.4 Ghz, 868 Mhz y 915 Mhz.

La razón de la elección, es que se tuviera en cuenta las principales tecnologías inalámbricas (descritas a lo largo del presente proyecto), por ser consideradas las de mayor relevancia actual: Wi-Fi, ZigBee y Bluetooth.

Frecuencias elegidas con su correspondiente tecnología:

- 2.4 Ghz → Tecnologías: Wi-Fi, ZigBee y Bluetooth
 - 868 Mhz }
 - 915 Mhz }
- Tecnología: ZigBee

Nota: Pese a las frecuencias utilizadas, cabe mencionar que éstas pueden ser perfectamente modificadas a cualquier banda de frecuencia que se desee.

Por otra parte, por cada antena que se desee introducir en el escenario (en nuestro caso se ha introducido una antena por vez, pero hay posibilidad de introducir las que hagan falta), se le asignará una posición diferente en el código de manera que al ejecutarlo y posteriormente analizar los resultados, sea posible conocer su alcance y mejor posición con respecto al escenario.

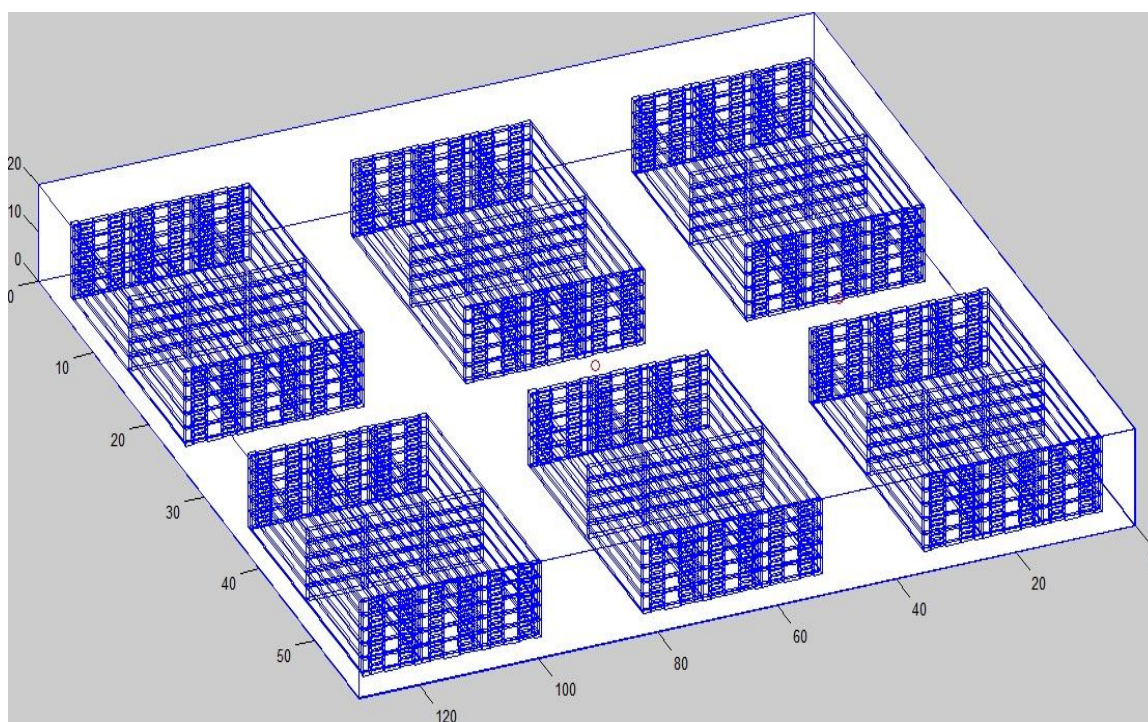


Figura21. Ejemplo de distribución con antena centrada

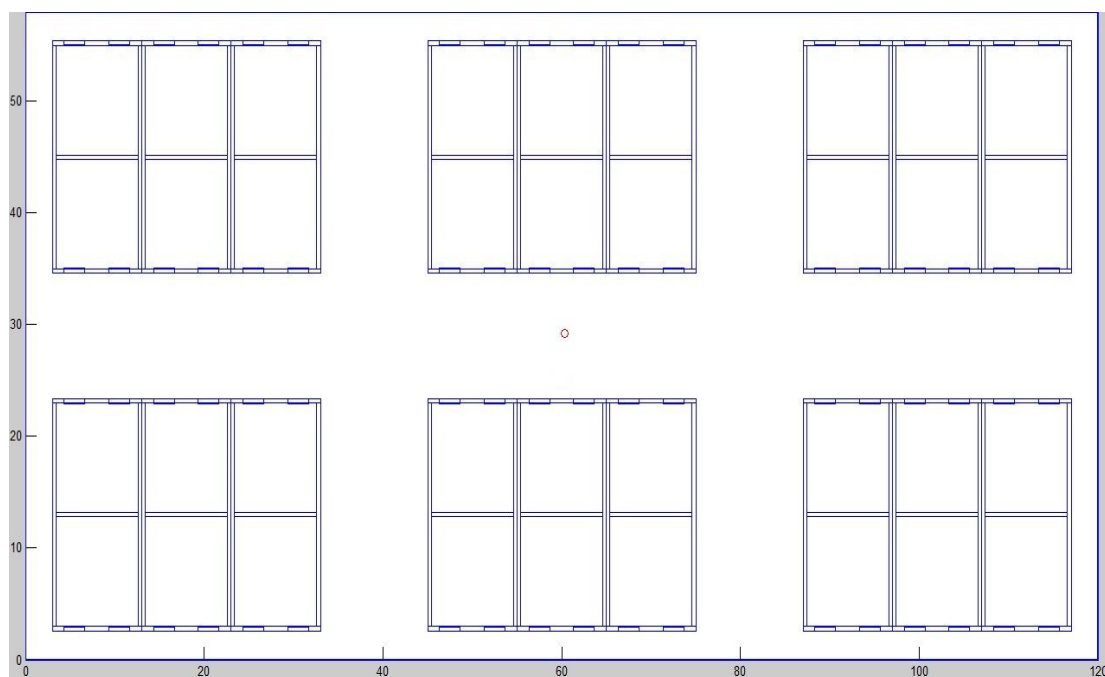


Figura22. Ejemplo de distribución con antena centrada vista desde arriba.



4.3 Resultados y su Análisis.

El escenario se divide en cubos, según la resolución que se desee. Cada uno de los denominados cubos funciona como una antena receptora.

Una vez se ha simulado el escenario, se obtiene una cell o celda de tamaño ($Resx * Resy * Resz$) y cada elemento de esta celda, posee una matriz con la información de cada uno de los rayos que ha pasado por esa localización.

En el caso del presente proyecto, como ya se ha mencionada en el apartado anterior, se han realizado simulaciones teniendo en cuenta las frecuencias usadas por las tecnologías inalámbricas más importantes debido a sus prestaciones (ZigBee, Wi-Fi y Bluetooth).

Por ello diferenciaremos los diferentes valores obtenidos: potencia, radiales, DelaySpread, PDPs, en dos apartados según la altura de nuestra antena, ya sea en el suelo o en el tejado (Altura a 1.6m o 15.9 m), que a su vez se compondrá de dos apartados según la posición de la misma en el escenario (Ejes x e y en: 3.8 y 22.2m o 13.8 y 3.8 m) para las diferentes frecuencias utilizadas respectivamente: 2.4 Ghz, 868 Mhz y 915 Mhz.

4.3.1 Mapas de Potencia.

Para conseguir el resultado del campo eléctrico en cada uno de los cubos, se realiza la suma de todos los campos incidentes que han proporcionado cada uno de los rayos al atravesar el cubo.

Con la obtención del campo eléctrico en cada uno de los puntos de recepción se obtiene el nivel de potencia recibida en escala lineal.

Esa potencia resultante se convierte a escala decibélica para una mejor visión de los resultados.

En nuestro caso, se han introducido todos los datos del escenario (tanto topológicos como morfológicos) y los resultados para planos de alturas concretas (altura $h = 1\text{m}$ y $h=16\text{m}$), dependiendo de posición de la antena y de la frecuencia tomada en cuenta, se muestran en las siguientes figuras:

4.3.1.1 Antena situada en el suelo ($z=1.6\text{m}$).

Diferenciaremos entre dos posiciones de la antena para la misma altura.

4.3.1.1.1 Posición de la antena en 3.8, 22.2, 1.6 (ejes x, y, z en m).

- Para la frecuencia de 2.4 Ghz (Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth).

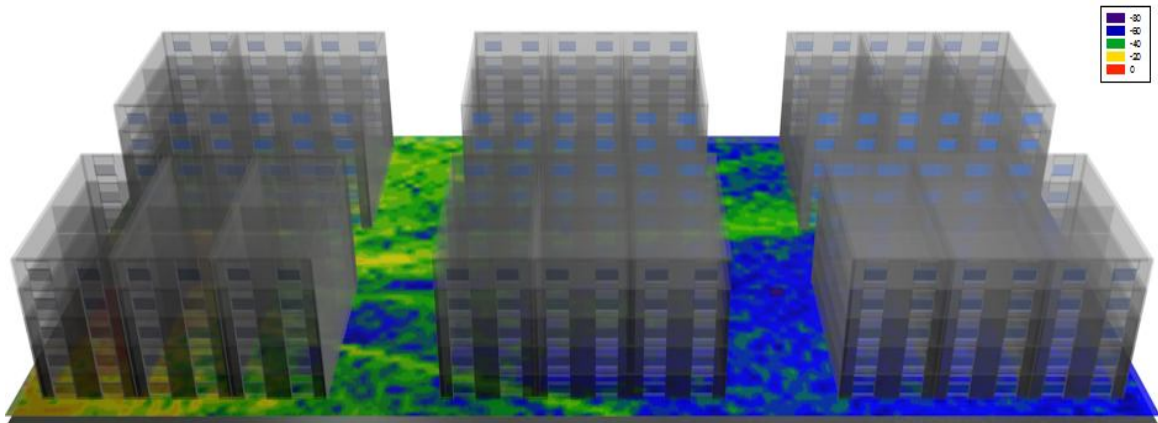


Figura23. Distribución en 3D de potencia recibida (en dBm) a 1 m de altura

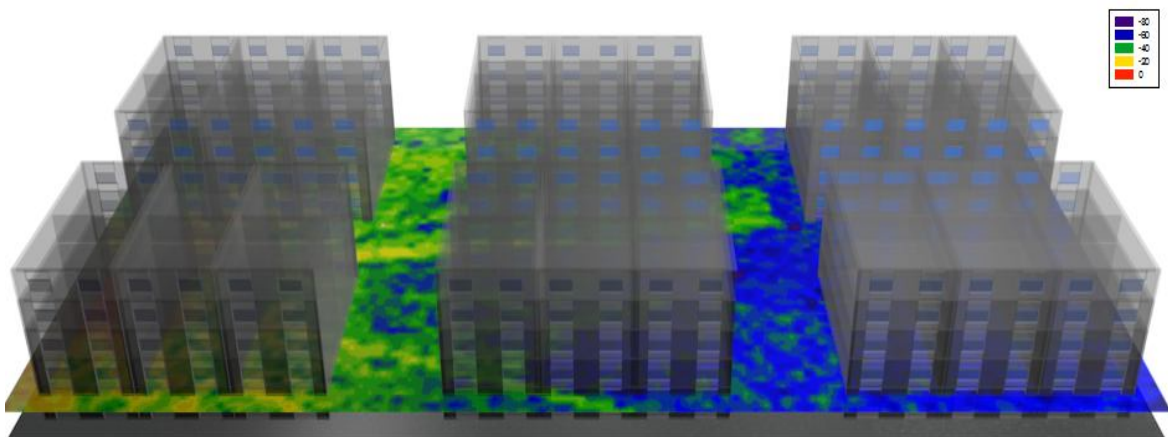


Figura24. Distribución en 3D de potencia recibida (en dBm) a 3 m de altura

- Para la frecuencia de 868Mhz (ZigBee).

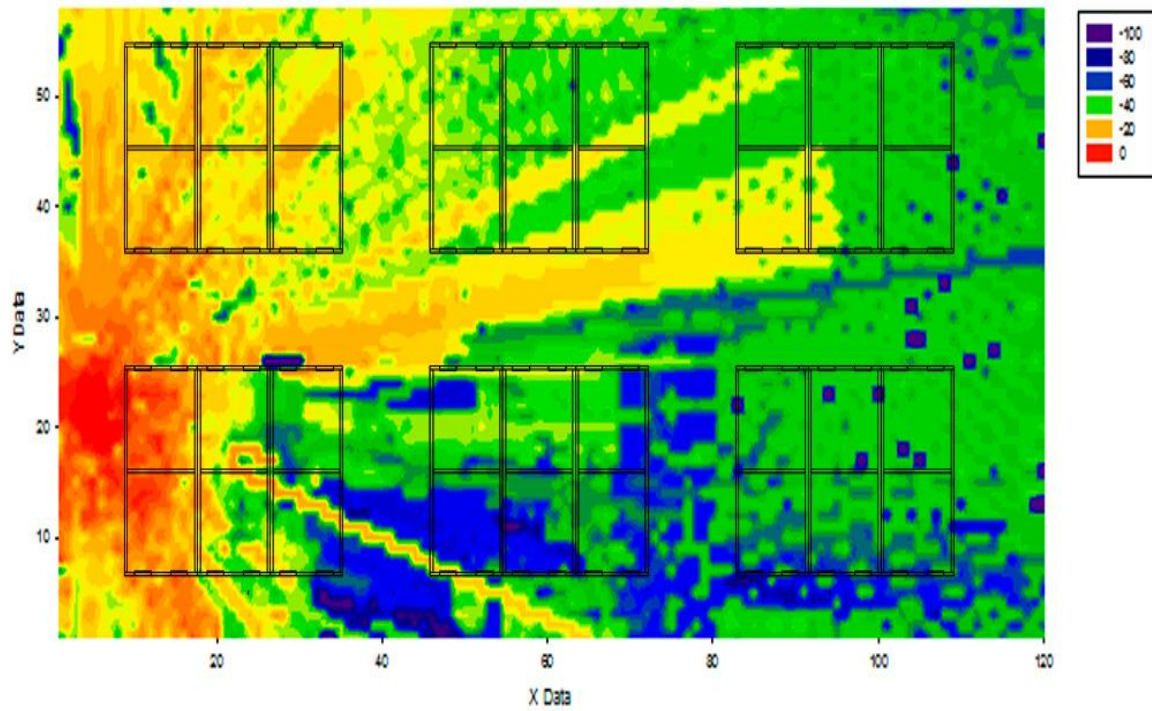


Figura25. Distribución de potencia recibida (en dBm) a 1 m de altura

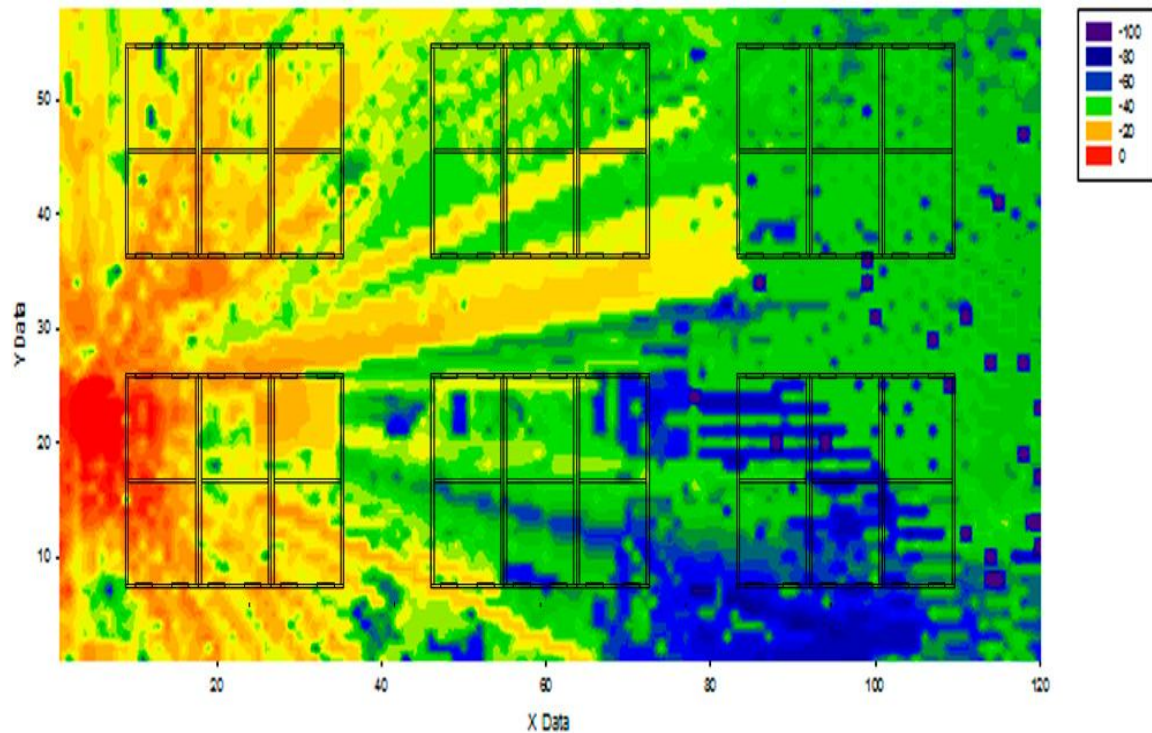


Figura26. Distribución de potencia recibida (en dBm) a 3 m de altura

- Para la frecuencia de 915 Mhz (ZigBee).

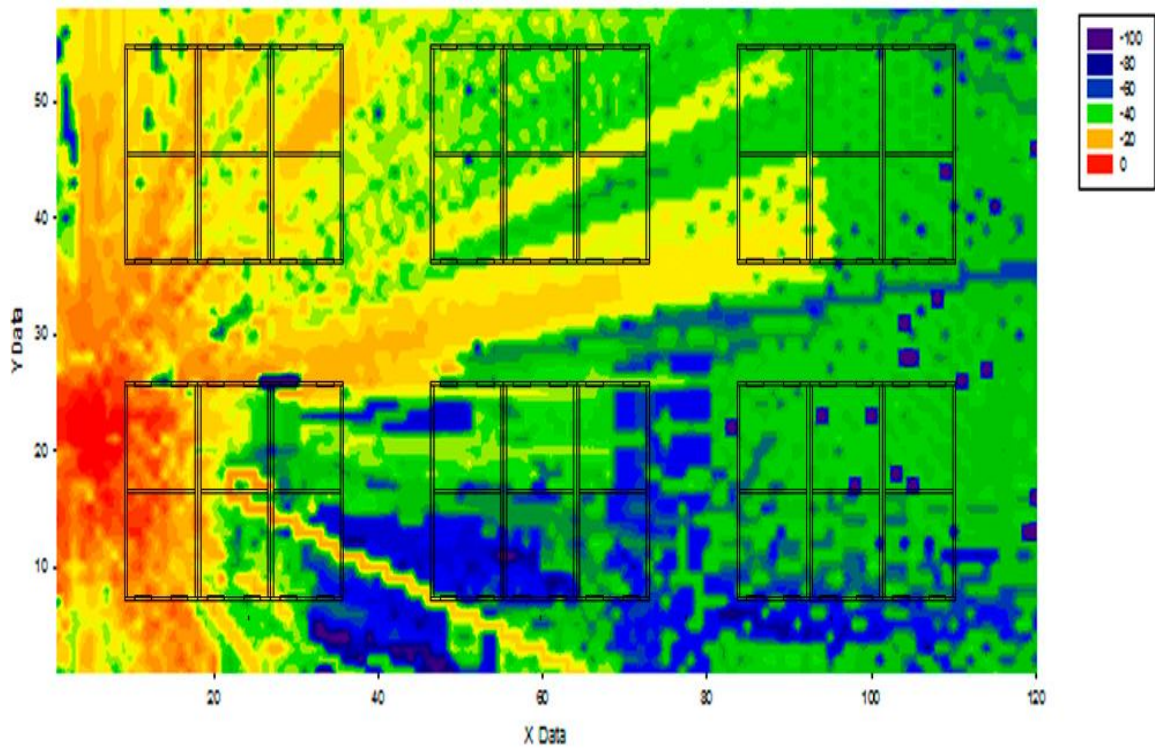


Figura27. Distribución de potencia recibida (en dBm) a 1 m de altura.

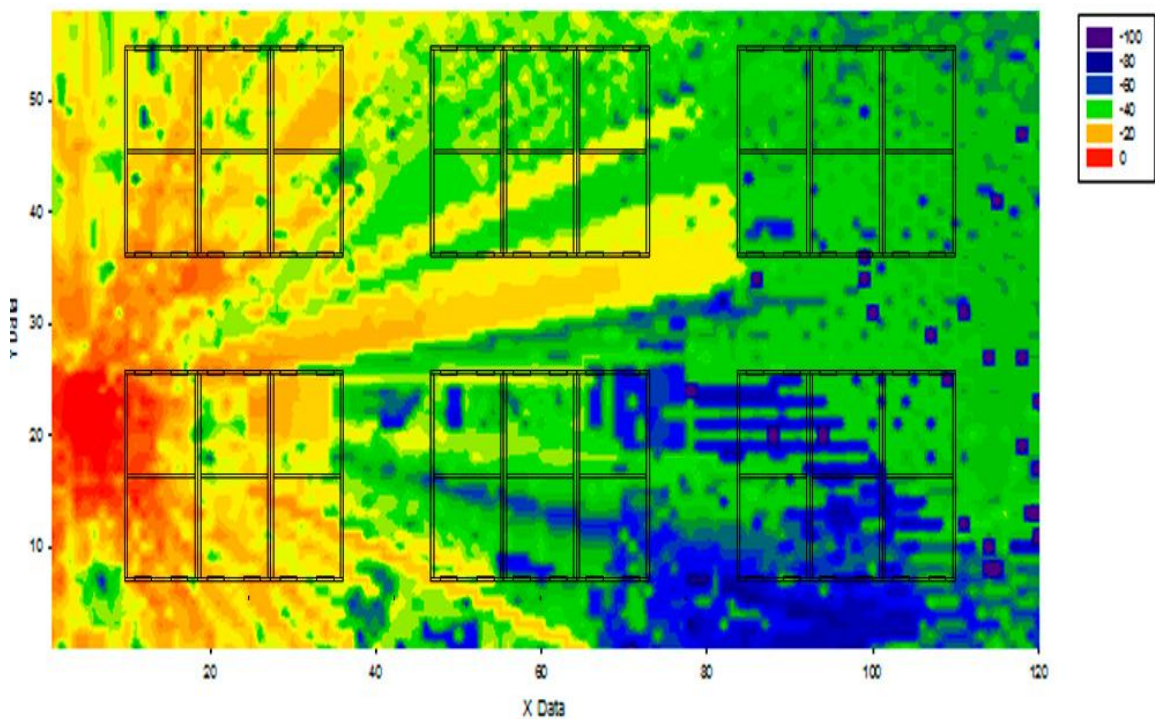


Figura28. Distribución de potencia recibida (en dBm) a 3 m de altura.

4.3.1.1.2 Posición de la antena en 13.8, 3.8, 1.6 (ejes x, y, z en m).

- Para la frecuencia de 2.4 Ghz (Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth).

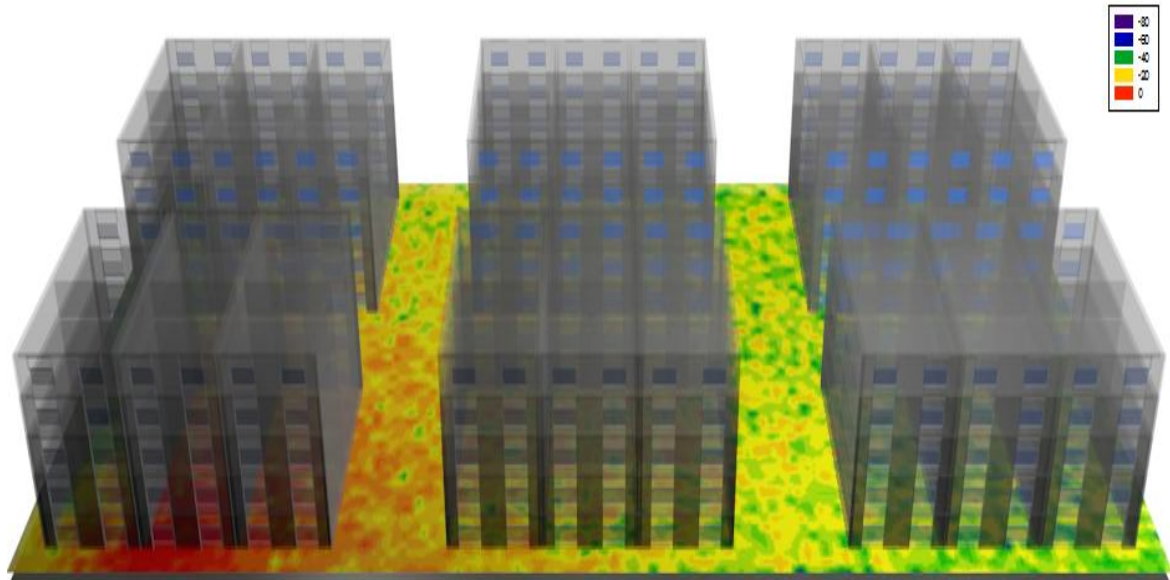


Figura29. Distribución en 3D de potencia recibida (en dBm) a 1 m de altura

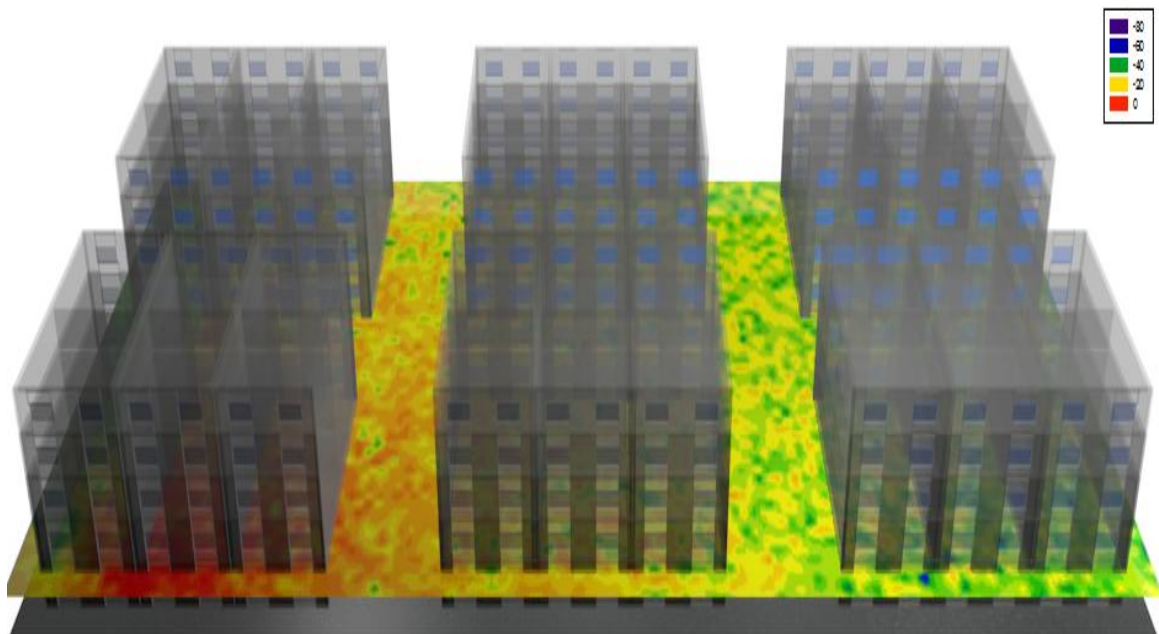


Figura30. Distribución en 3D de potencia recibida (en dBm) a 3 m de altura

- Para la frecuencia de 868Mhz (ZigBee).

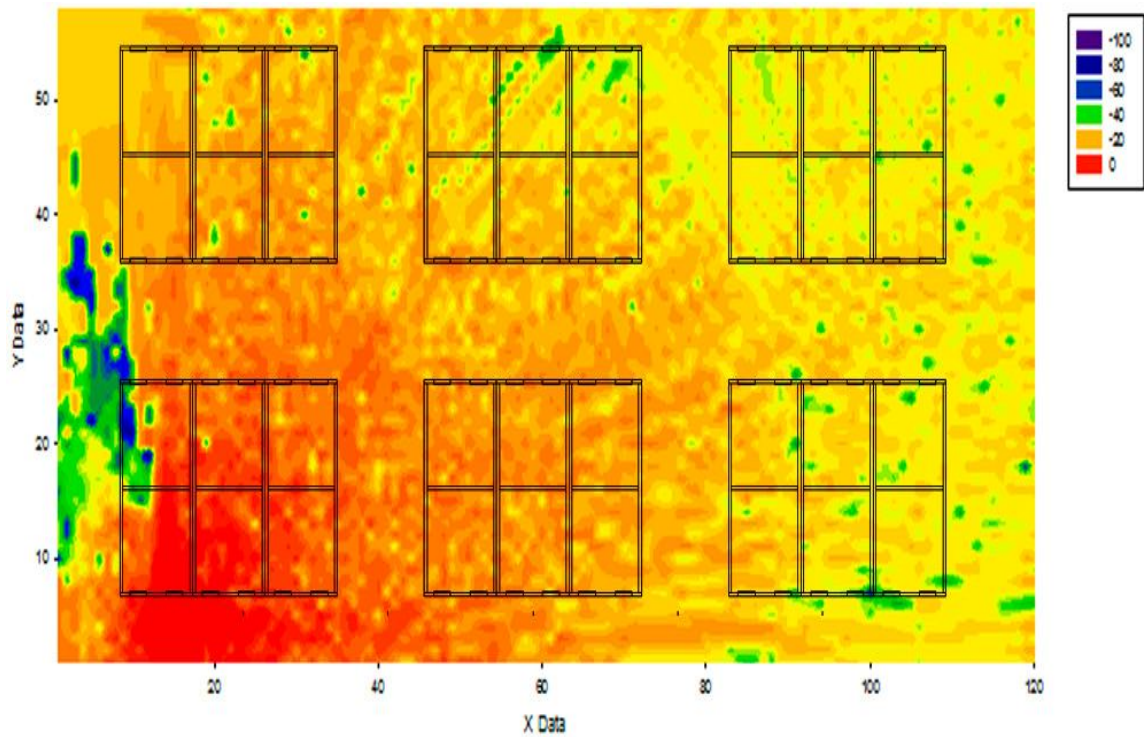


Figura31. Distribución de potencia recibida (en dBm) a 1 m de altura.

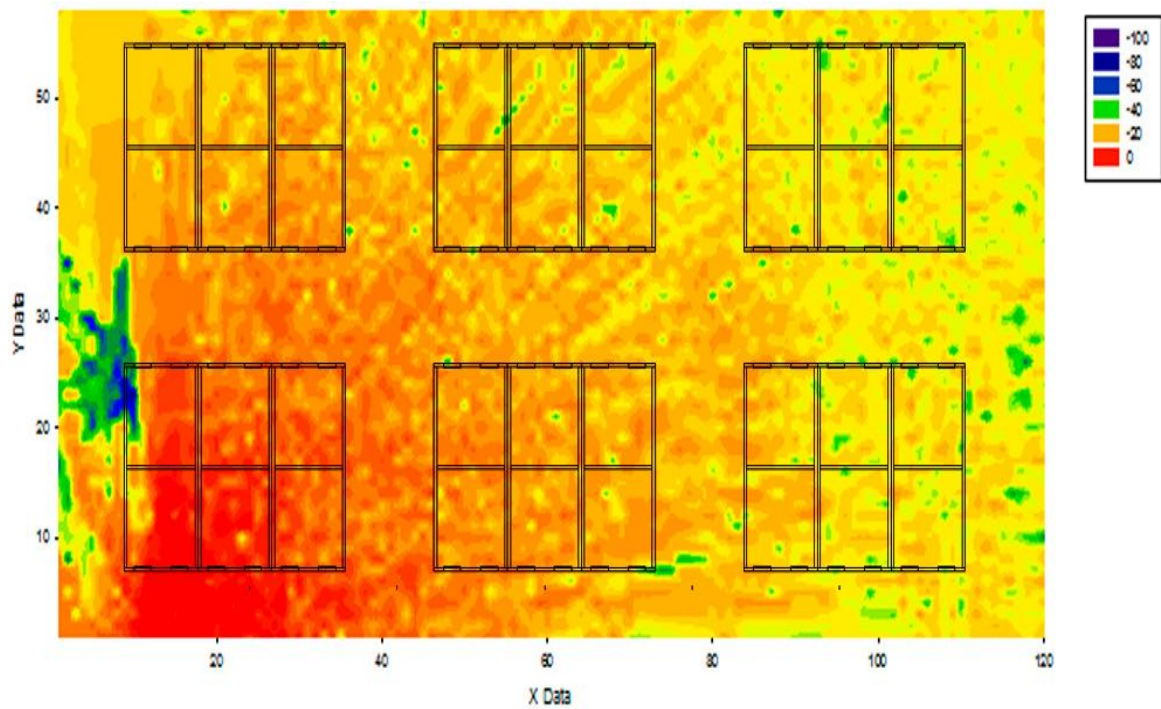


Figura32. Distribución de potencia recibida (en dBm) a 3 m de altura.

- Para la frecuencia de 915 Mhz (ZigBee).

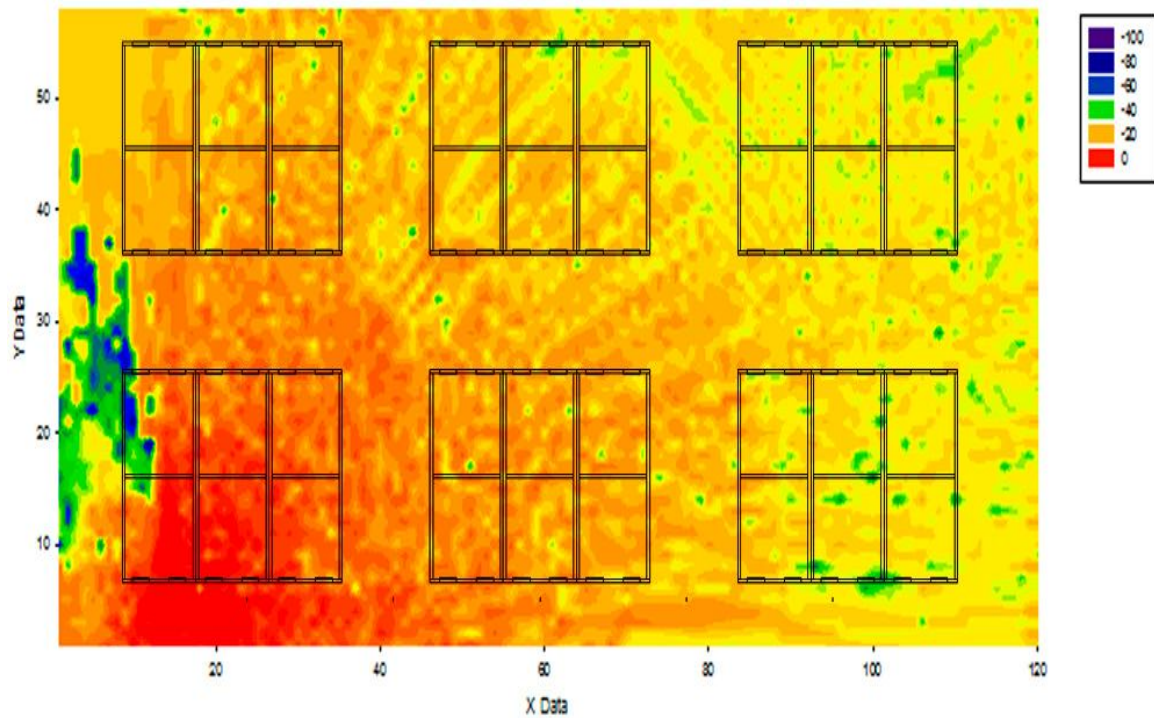


Figura33. Distribución de potencia recibida (en dBm) a 1 m de altura

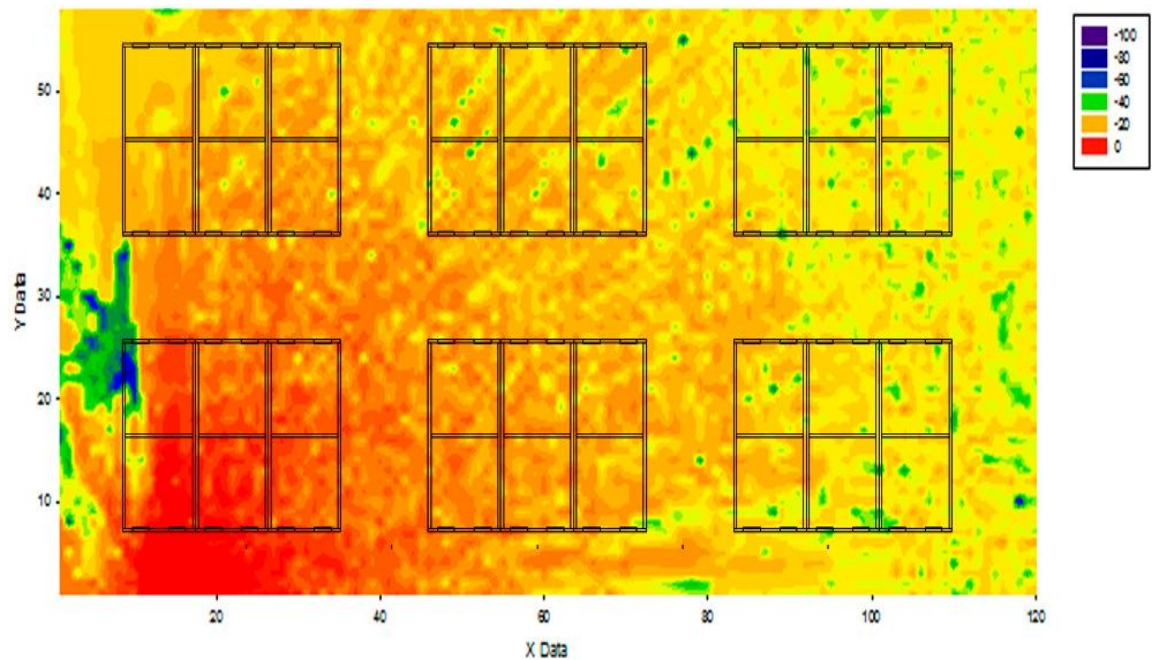


Figura34. Distribución de potencia recibida (en dBm) a 3 m de altura

4.3.1.2 Antena situada en el tejado ($z=15.9\text{m}$).

Repetimos la diferenciación entre dos posiciones de la antena para la misma altura.

4.3.1.2.1 Posición de la antena para 3.8, 22.2, 15.9 (ejes x, y, z en m).

- Para la frecuencia de 2.4 Ghz (Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth).

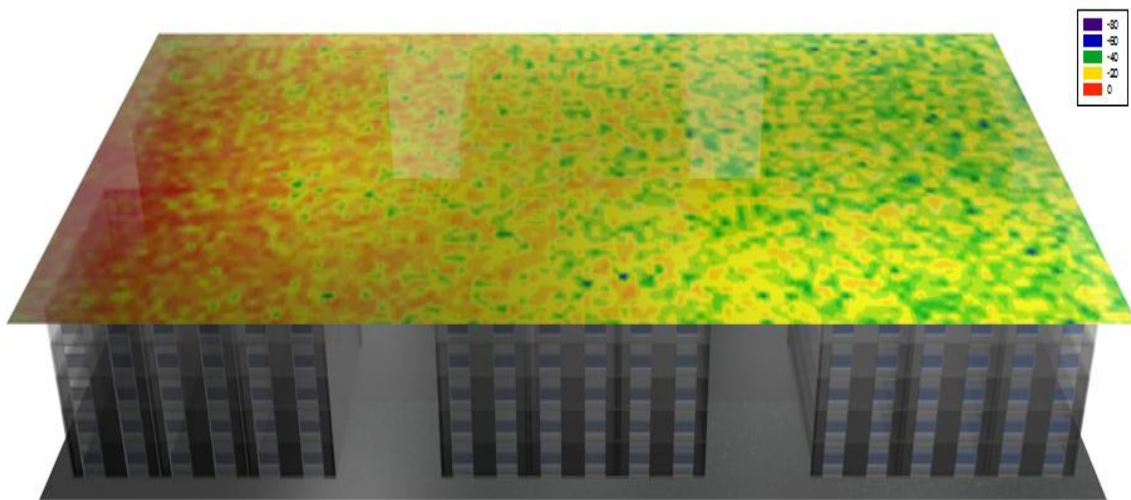


Figura35. Distribución en 3D de potencia recibida (en dBm) a 16 m de altura

- Para la frecuencia de 868Mhz (ZigBee).

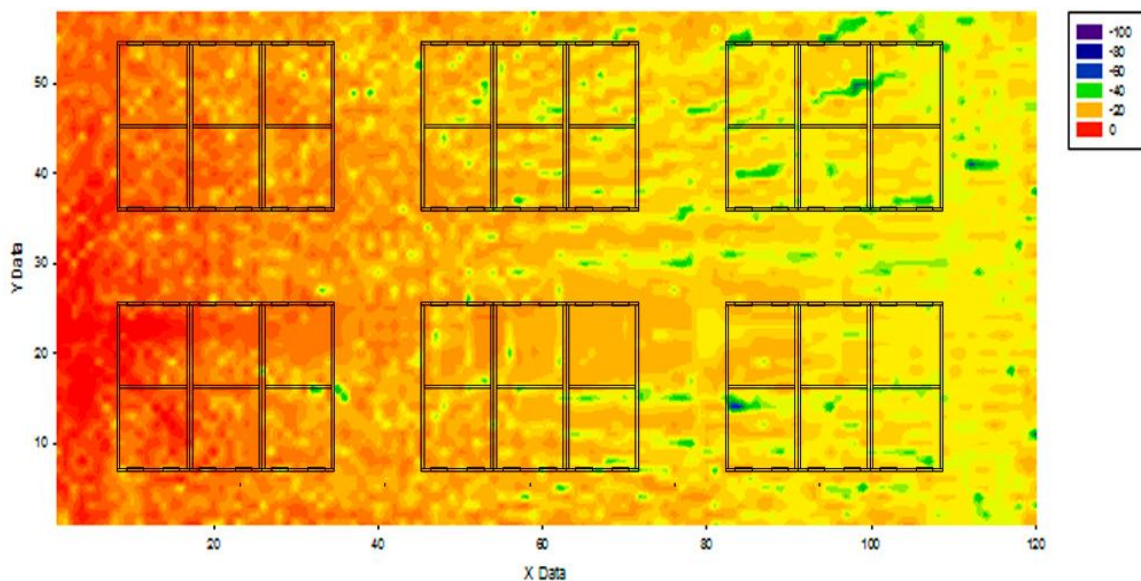


Figura36. Distribución de potencia recibida (en dBm) a 16 m de altura

- Para la frecuencia de 915 Mhz (ZigBee).

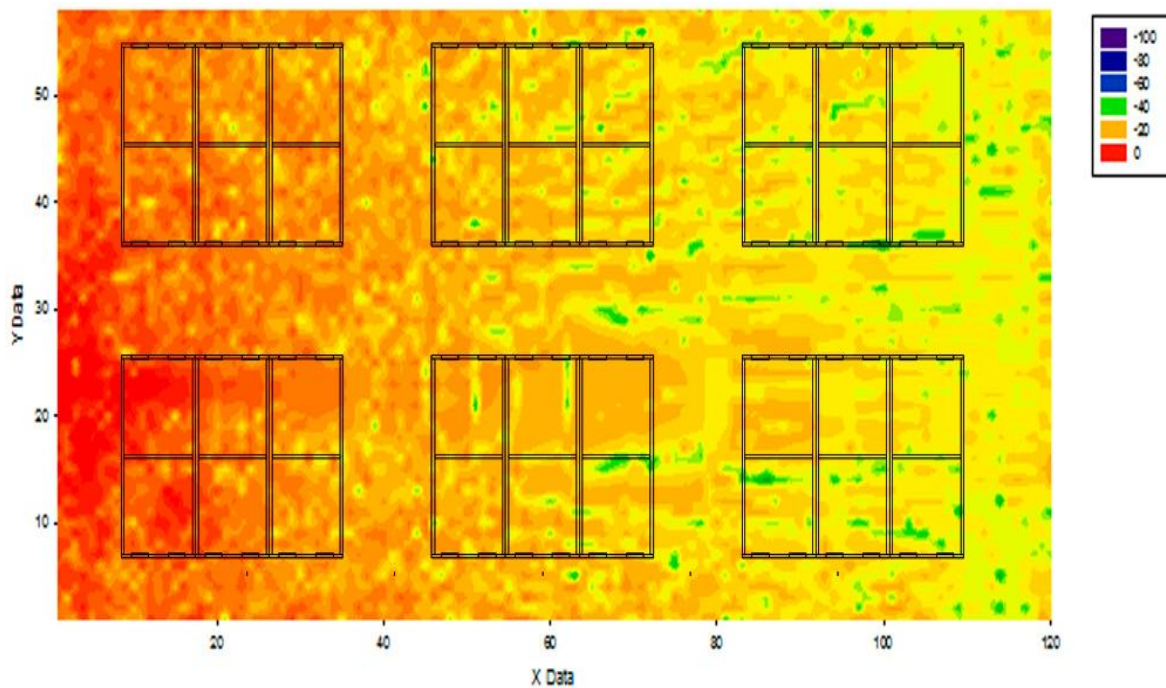


Figura37. Distribución de potencia recibida (en dBm) a 16 m de altura.

4.3.1.2.2 Posición de la antena para 13.8, 22.2, 15.9 (ejes x, y, z en m).

- Para la frecuencia de 2.4 Ghz (Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth).

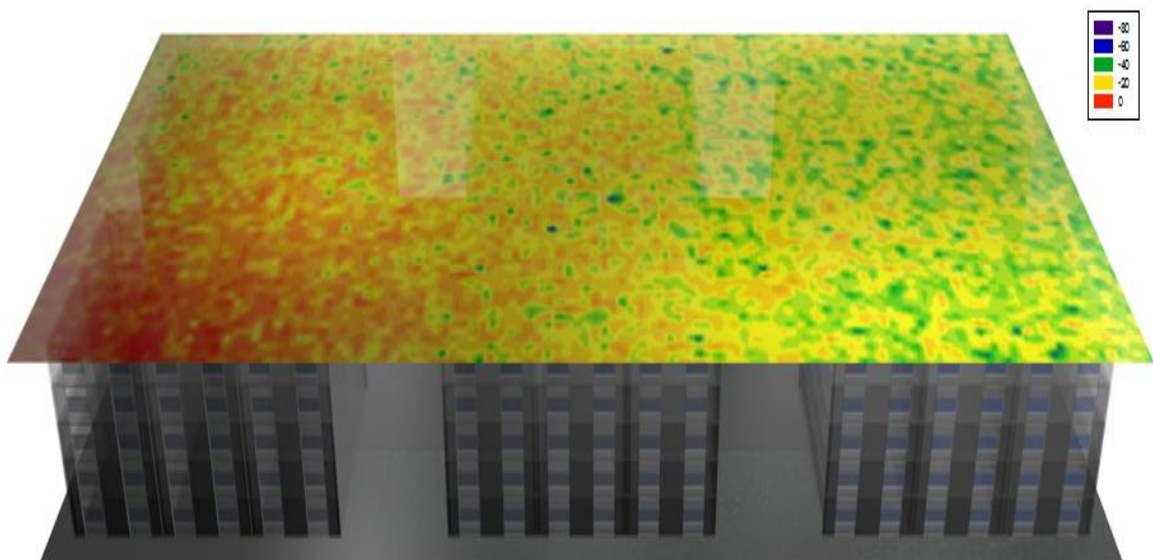


Figura38. Distribución en 3D de potencia recibida (en dBm) a 16m de altura.

- Para la frecuencia de 868Mhz (ZigBee).

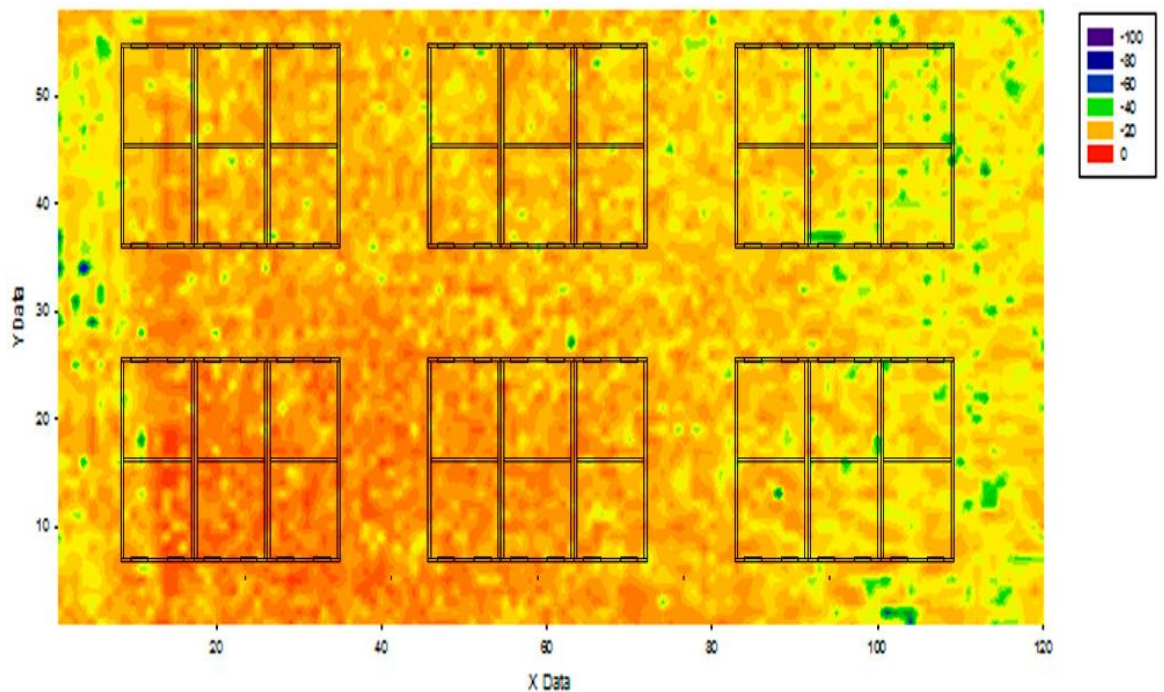


Figura39. Distribución de potencia recibida (en dBm) a 16 m de altura

- Para la frecuencia de 915 Mhz (ZigBee).

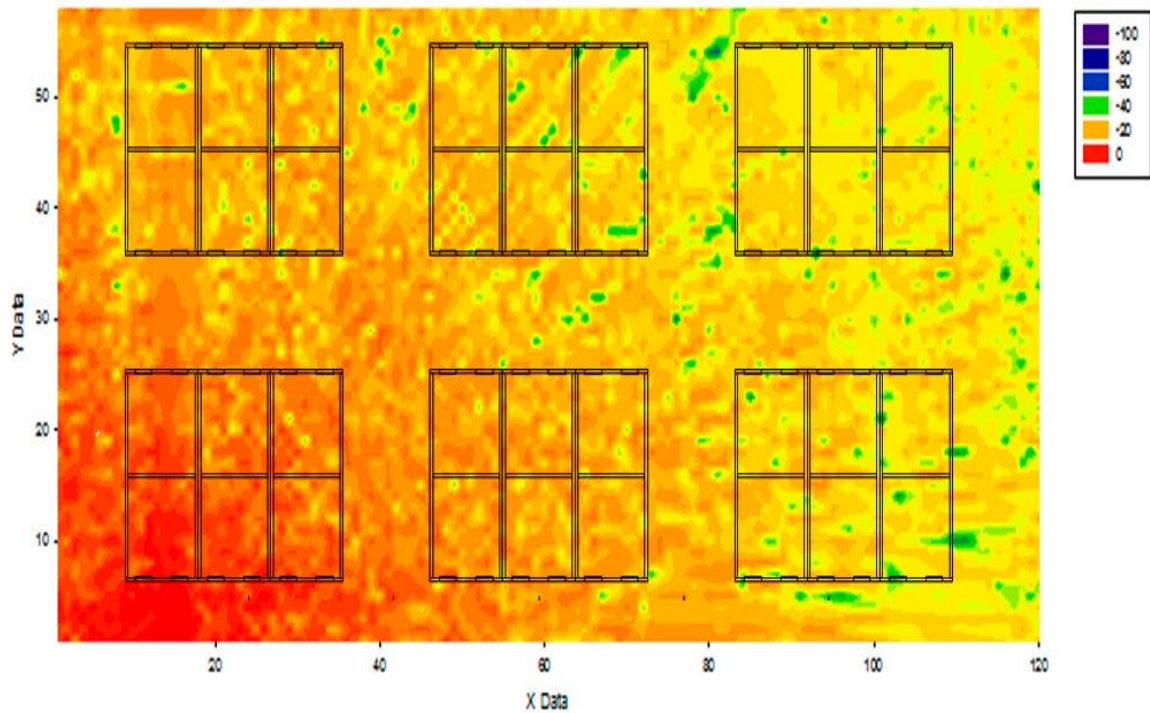


Figura40. Distribución de potencia recibida (en dBm) a 16 m de altura

Mediante otro plano bidimensional de los niveles de potencia, podemos observar cómo las señales inalámbricas están presentes a lo largo de todo el escenario, mostrando variaciones significativas en función de la localización.

Esto puede deberse principalmente a los componentes multipath, los cuales se manifiestan mediante la interacción con los elementos que componen el escenario.

Así pues para la frecuencia de 2.4 Ghz, tenemos:

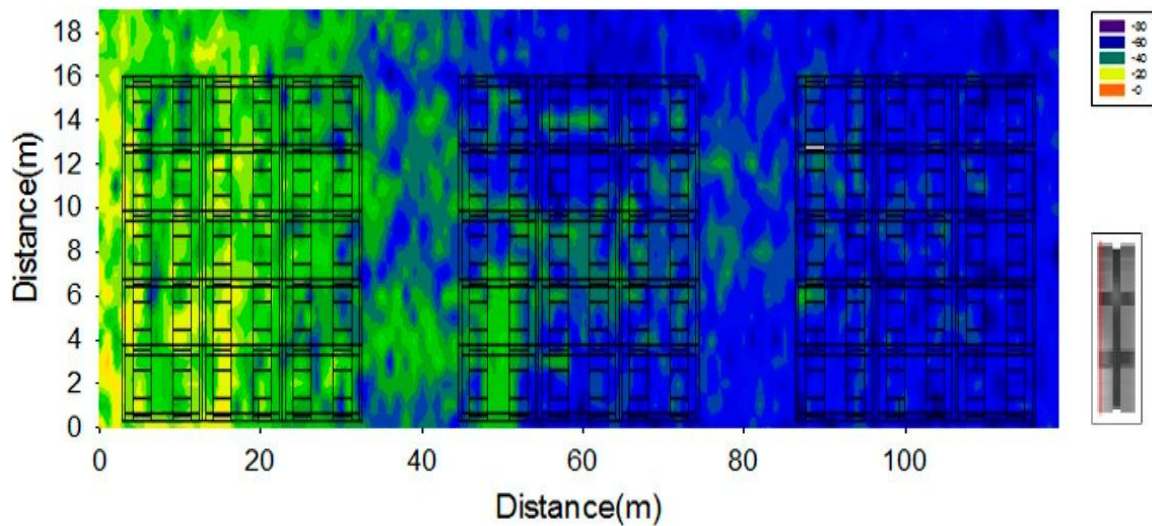


Figura41. Niveles de potencia (Y=6) con antena en 3.8, 22.2, 1.6m

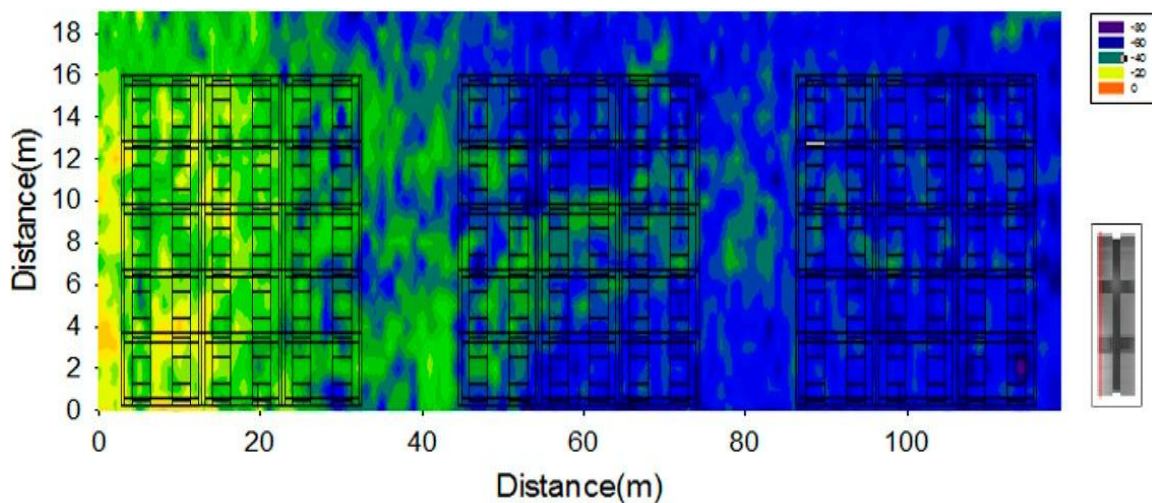


Figura42. Niveles de potencia (Y=9) con antena en 3.8, 22.2, 1.6m

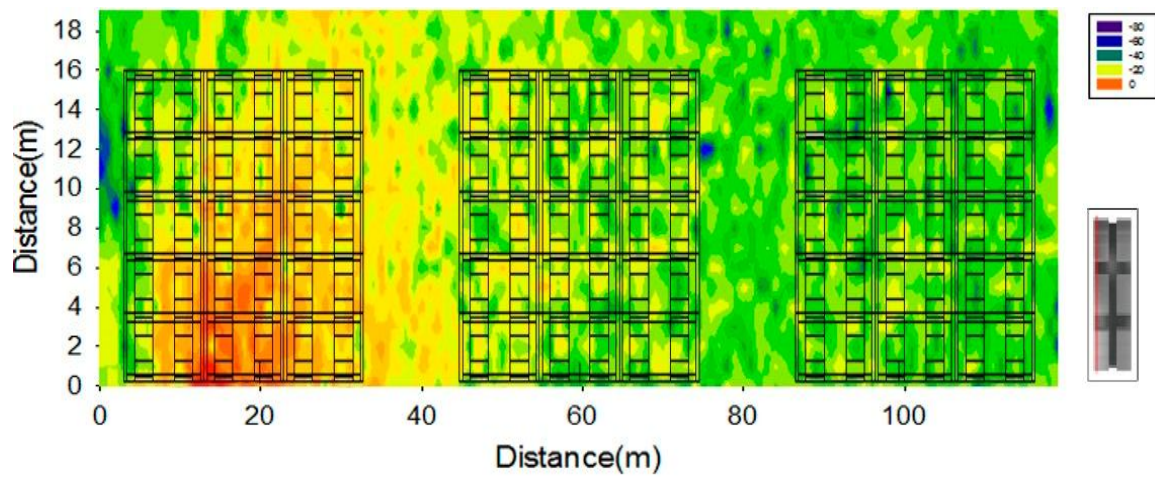


Figura43. Niveles de potencia (Y=6) con antena en 13.8, 3.8, 1.6m

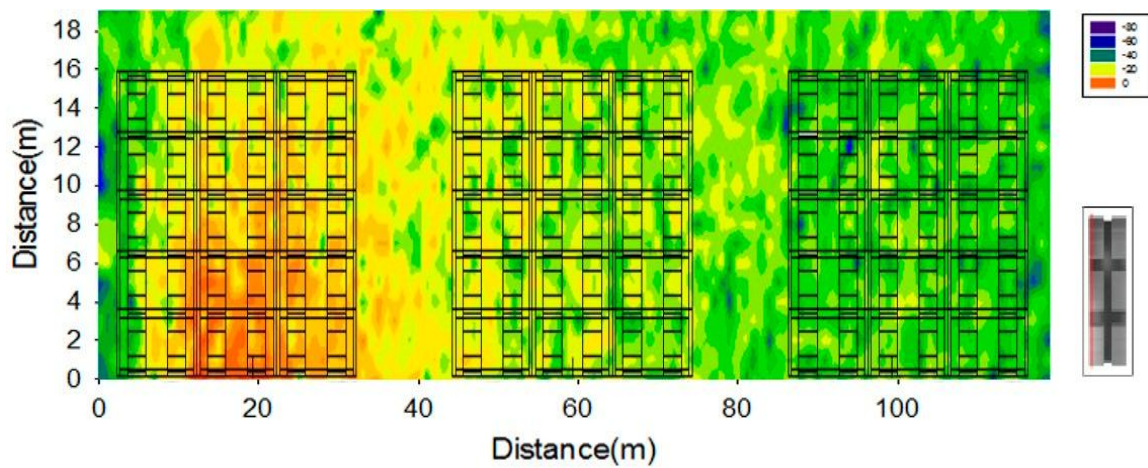


Figura44. Niveles de potencia (Y=9) con antena en 13.8, 3.8, 1.6m

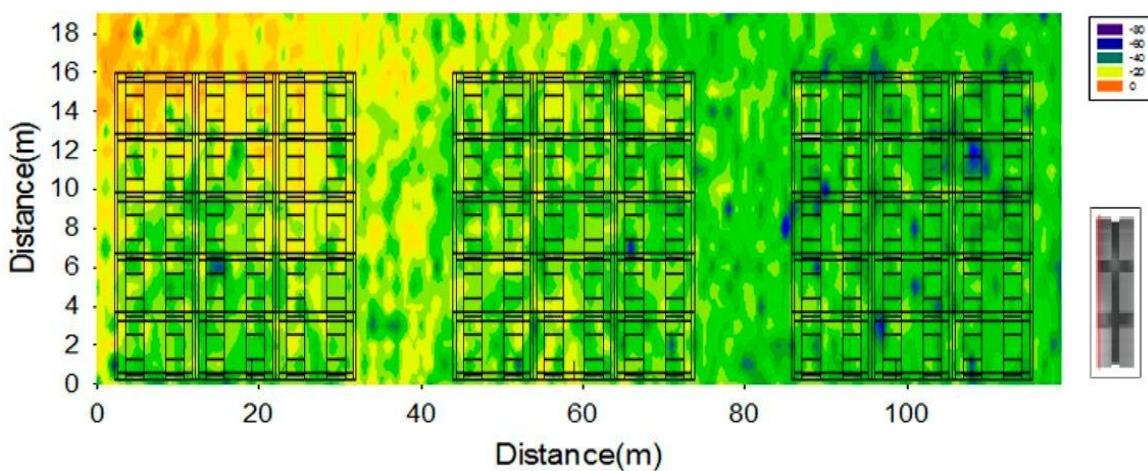


Figura45. Niveles de potencia (Y=6) con antena en 3.8, 22.2, 15.9m

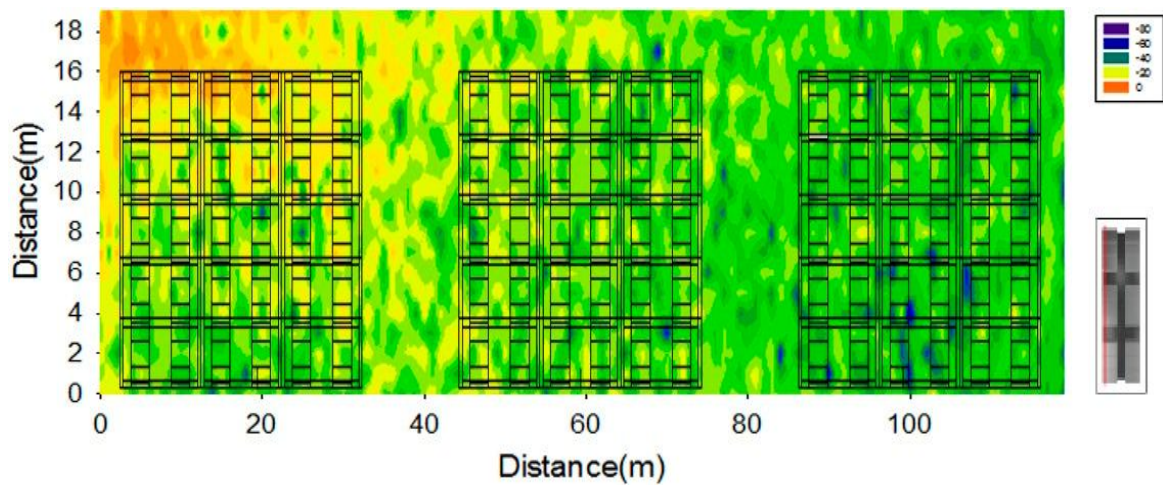


Figura46. Niveles de potencia (Y=9) con antena en 3.8, 22.2, 15.9m

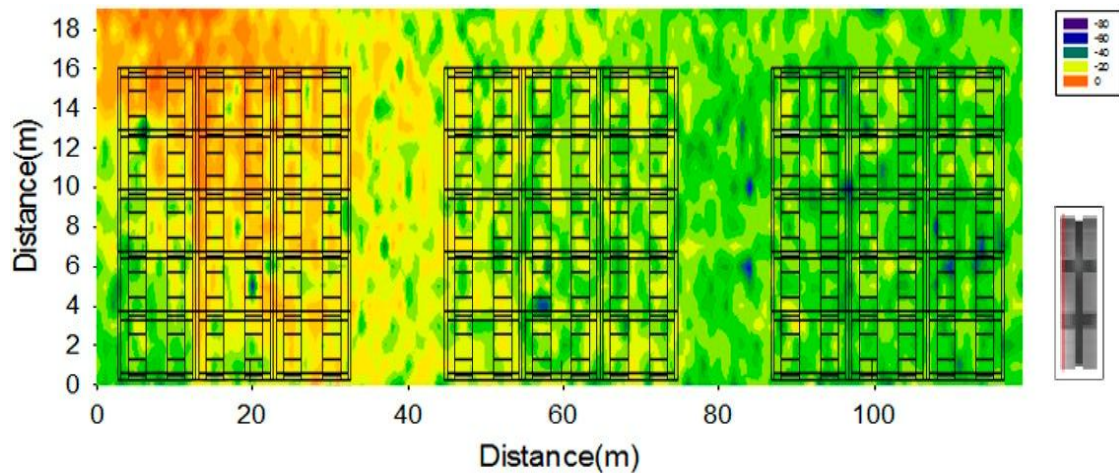


Figura47. Niveles de potencia (Y=6) con antena en 13.8, 3.8, 15.9m

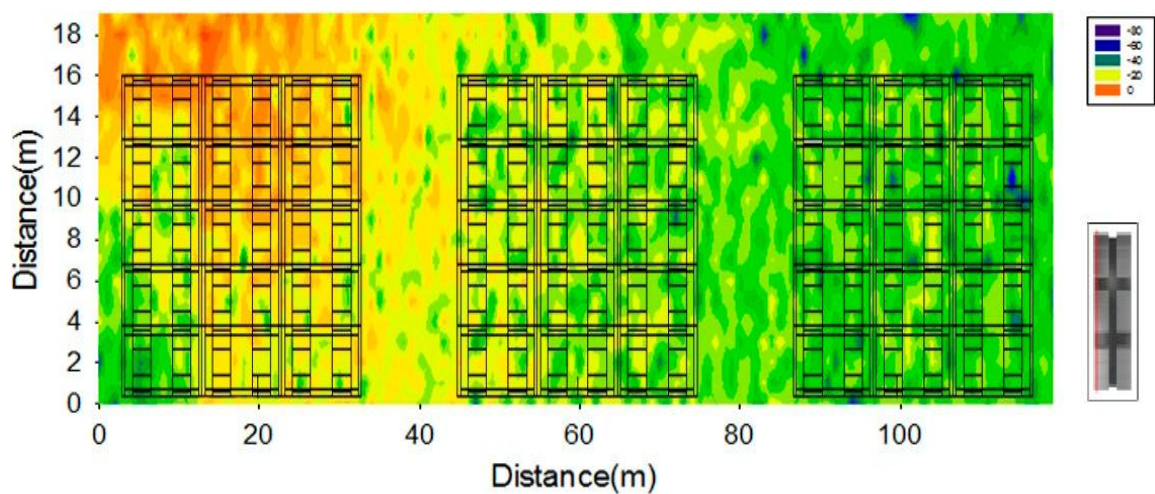


Figura48. Niveles de potencia (Y=9) con antena en 13.8, 3.8, 15.9m

De igual manera para la frecuencia de 868 Mhz tenemos:

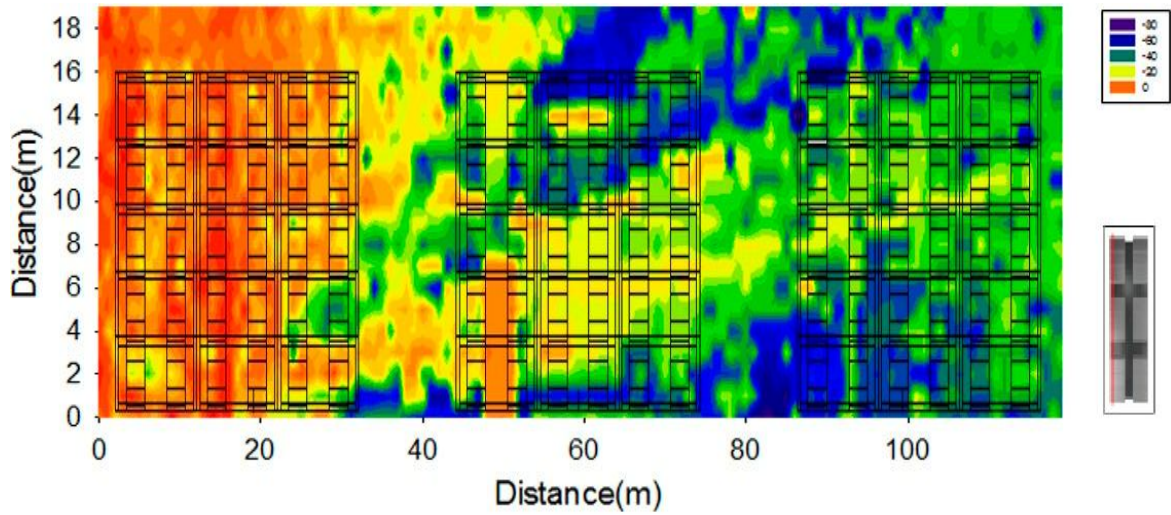


Figura49. Niveles de potencia (Y=6) con antena en 3.8, 22.2, 1.6m

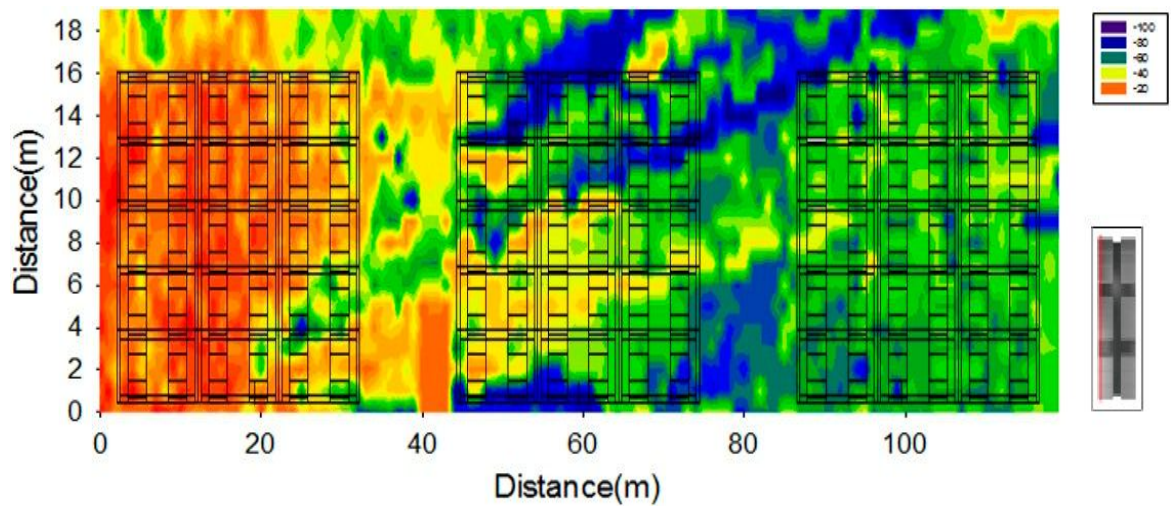


Figura50. Niveles de potencia (Y=9) con antena en 3.8, 22.2, 1.6m

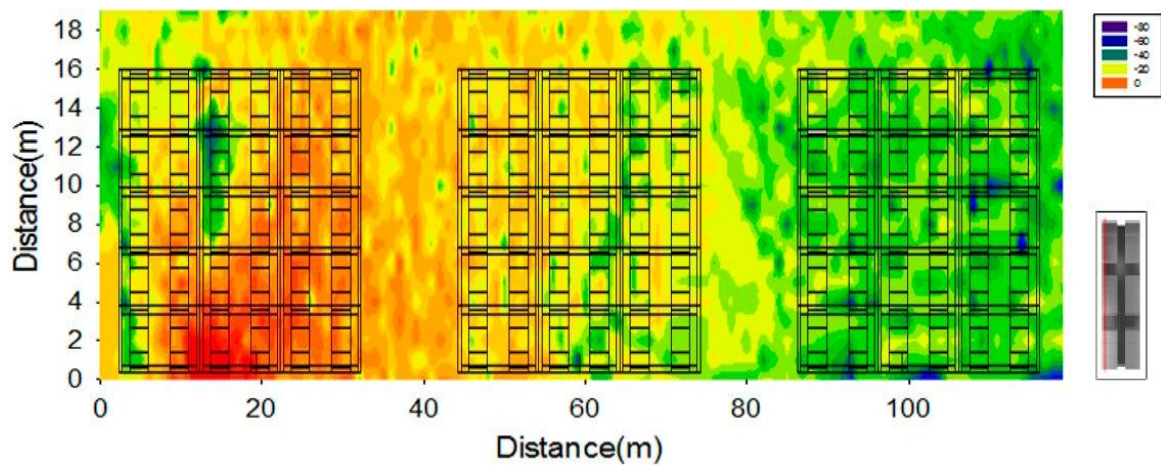


Figura51. Niveles de potencia (Y=6) con antena en 13.8, 3.8, 1.6m

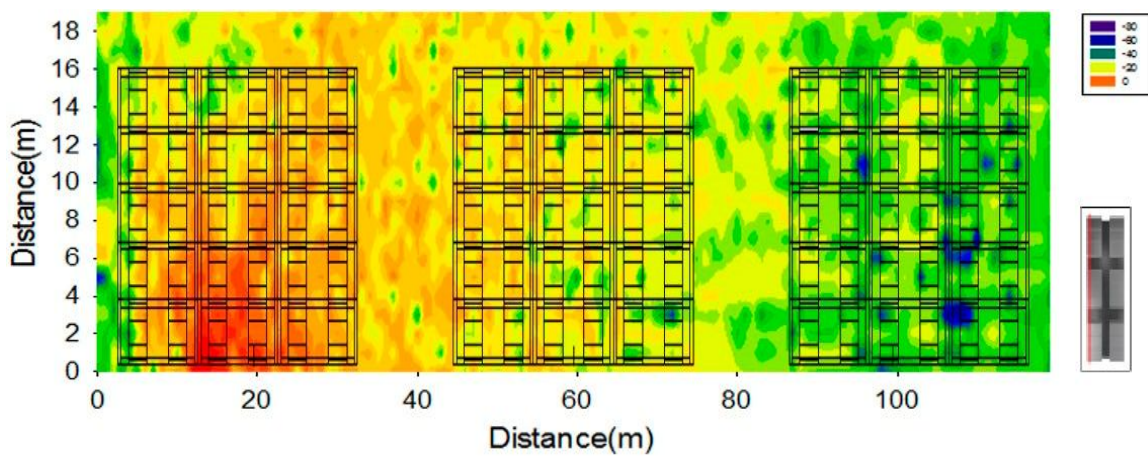


Figura52. Niveles de potencia (Y=9) con antena en 13.8, 3.8, 1.6m

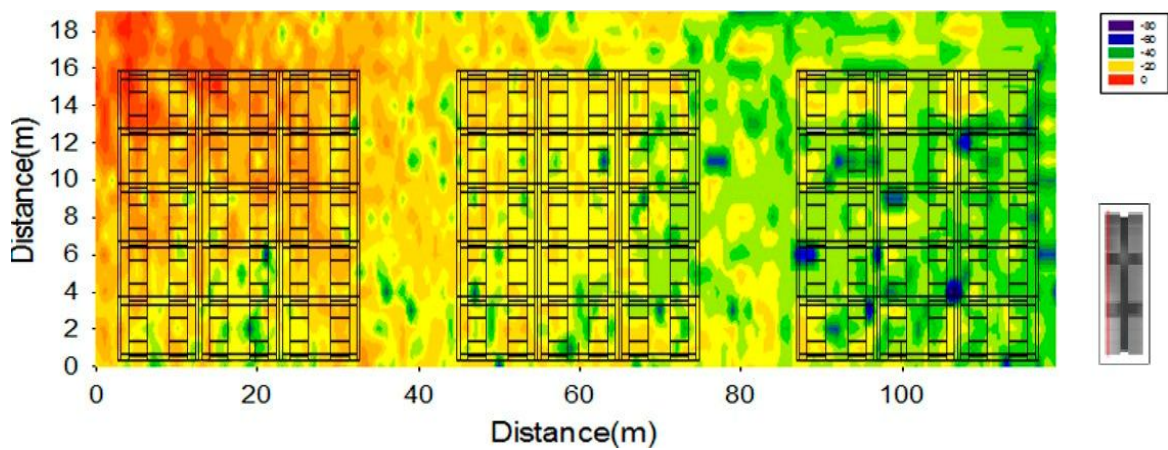


Figura53. Niveles de potencia (Y=6) con antena en 3.8, 22.2, 15.9m

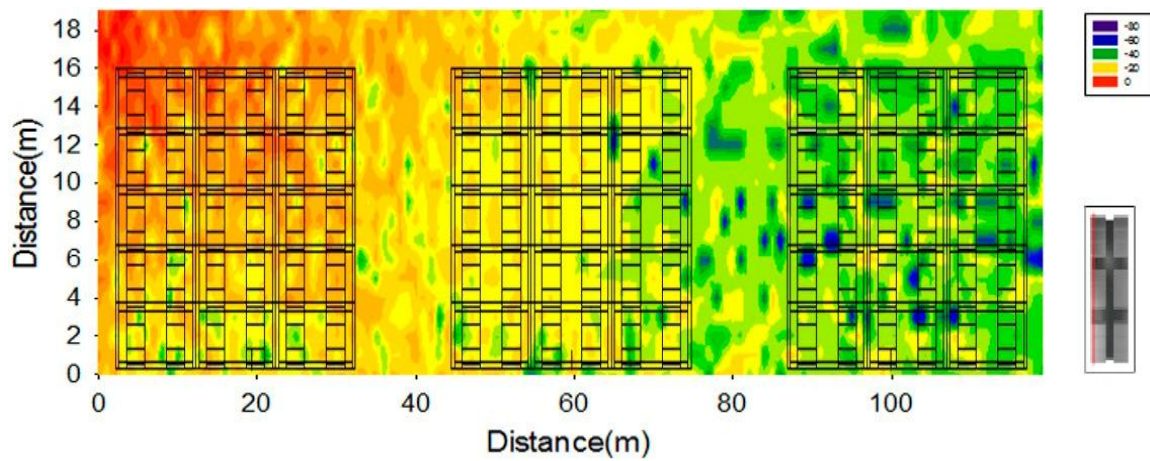


Figura54. Niveles de potencia (Y=9) con antena en 3.8, 22.2, 15.9m

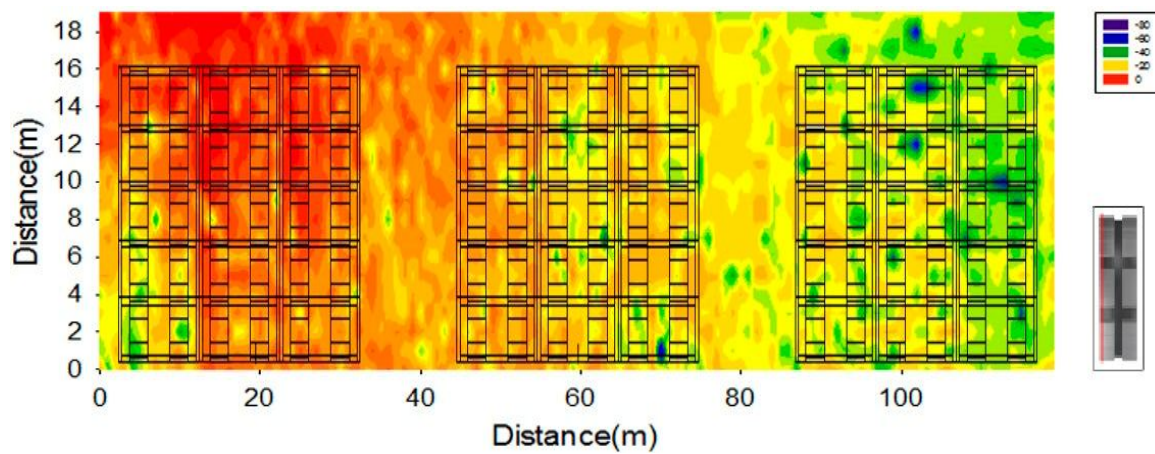


Figura55. Niveles de potencia (Y=6) con antena en 13.8, 3.8, 15.9m

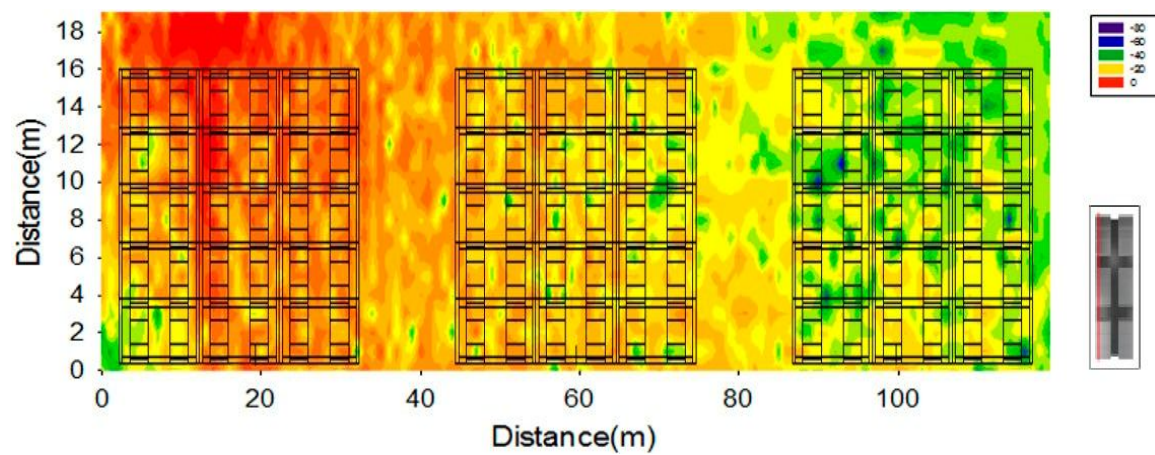


Figura56. Niveles de potencia (Y=9) con antena en 13.8, 3.8, 15.9m

Así mismo para la frecuencia de 915 Mhz tenemos:

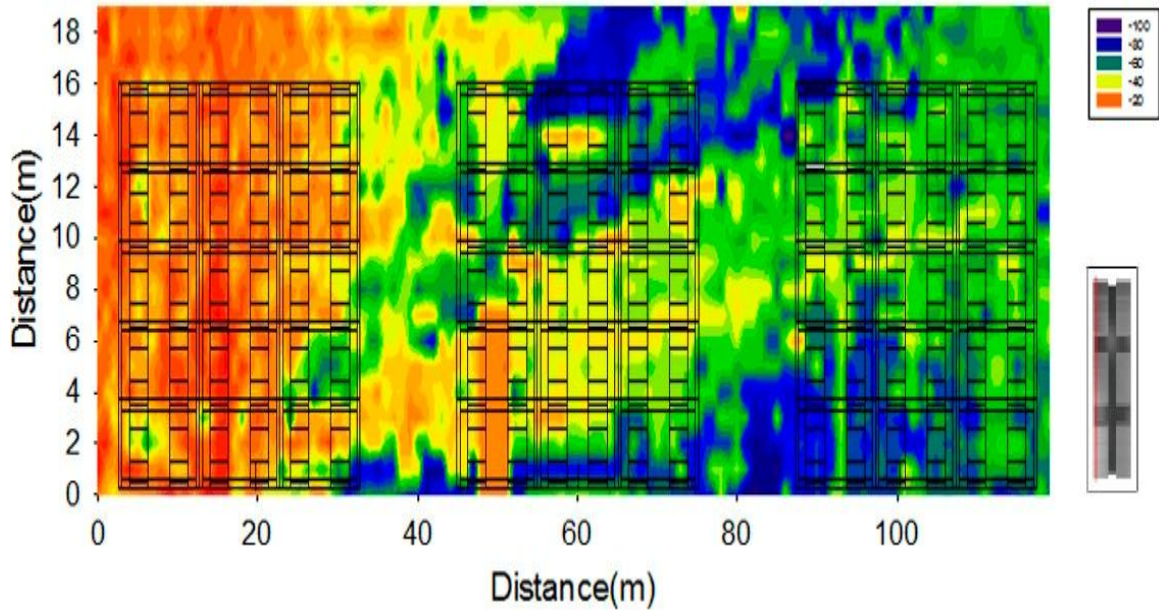


Figura57. Niveles de potencia (Y=6) con antena en 3.8, 22.2, 1.6m

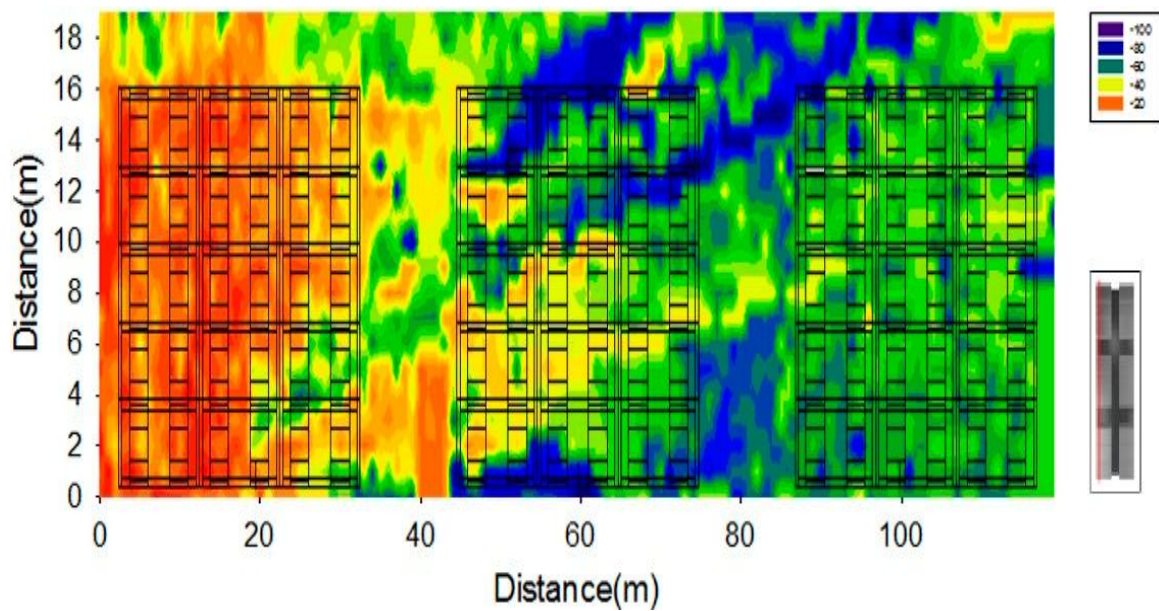


Figura58. Niveles de potencia (Y=9) con antena en 3.8, 22.2, 1.6m

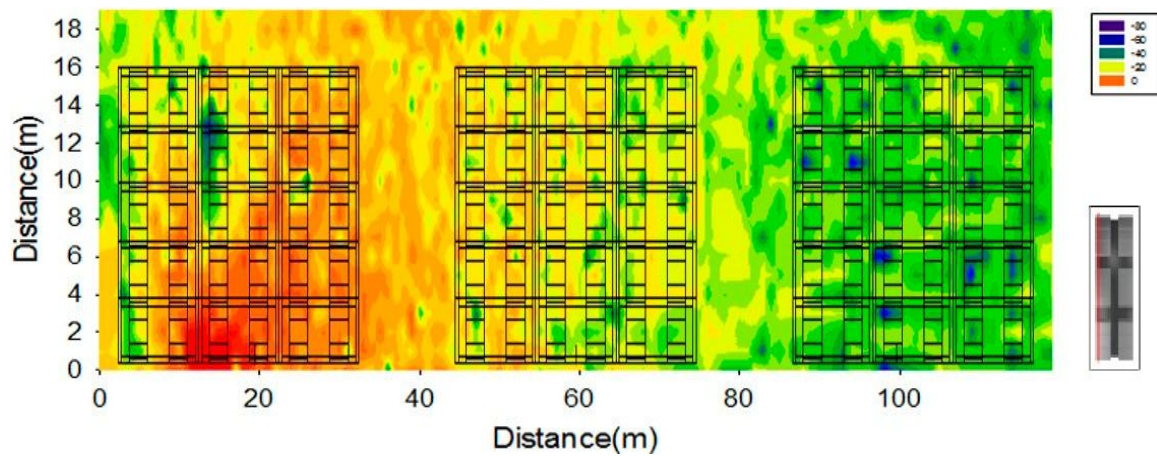


Figura59. Niveles de potencia (Y=6) con antena en 13.8, 3.8, 1.6m

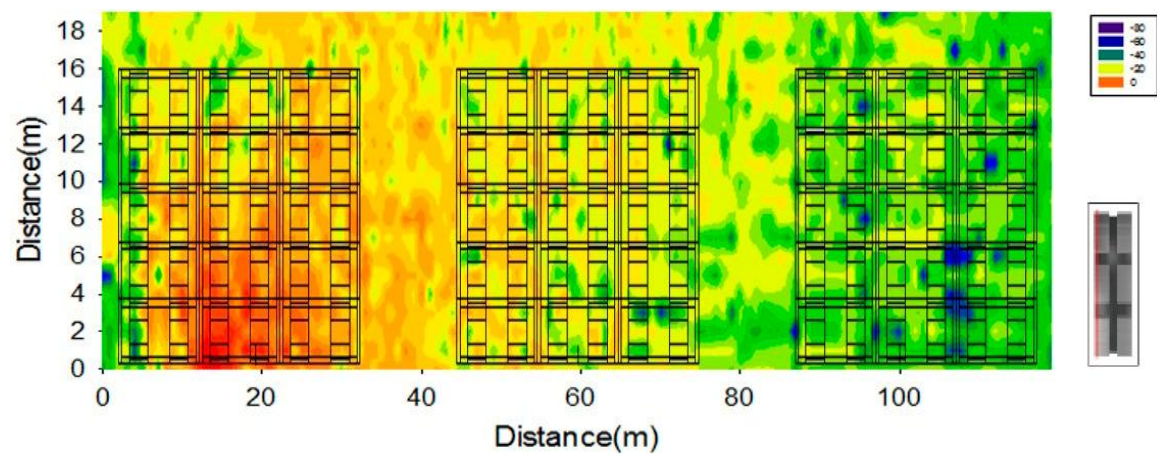


Figura60. Niveles de potencia (Y=9) con antena en 13.8, 3.8, 1.6m

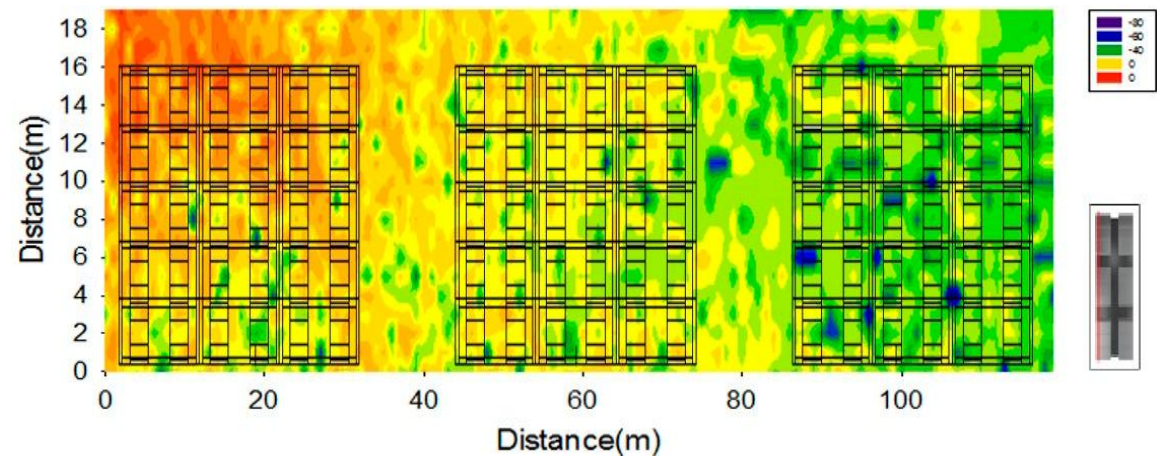


Figura61. Niveles de potencia (Y=6) con antena en 3.8, 22.2, 15.9m

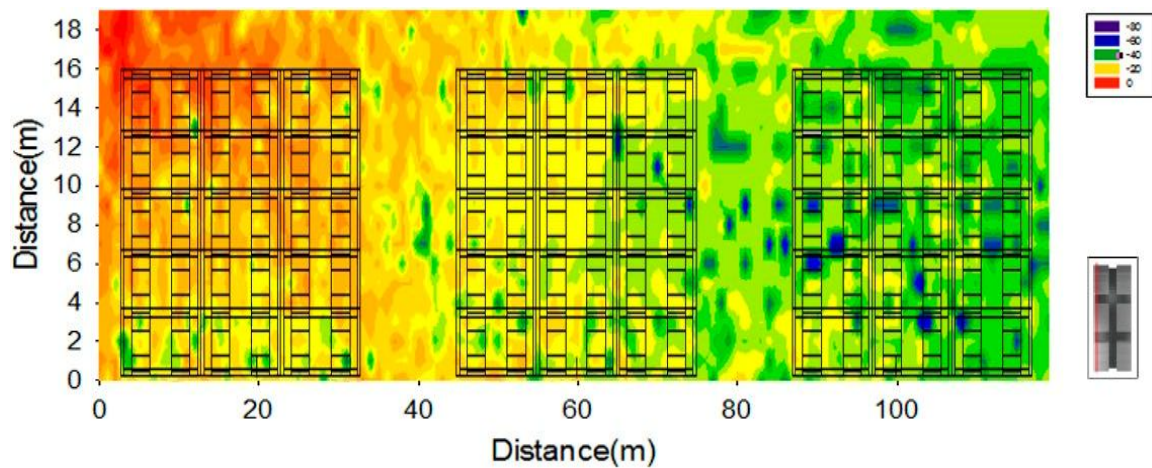


Figura62. Niveles de potencia (Y=9) con antena en 3.8, 22.2, 15.9m

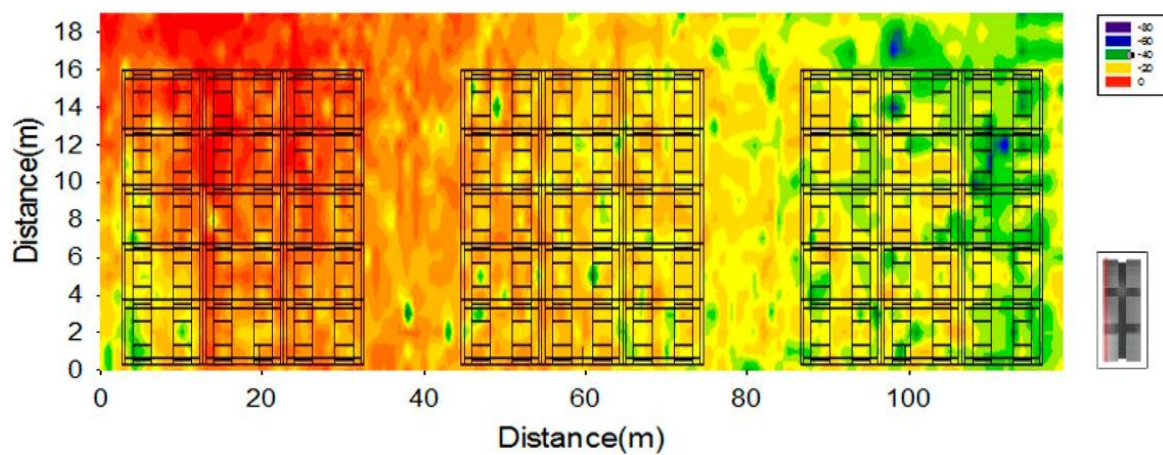


Figura63. Niveles de potencia (Y=6) con antena en 13.8, 3.8, 15.9m

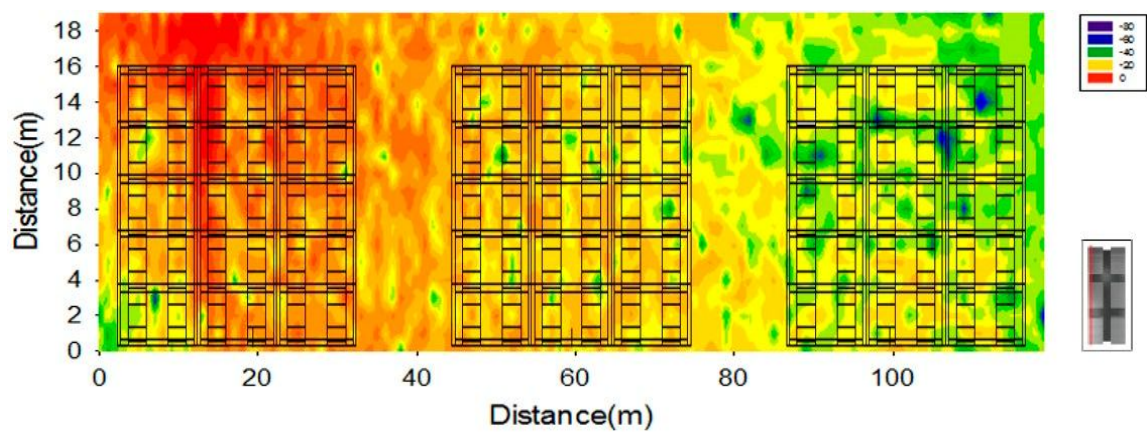


Figura64. Niveles de potencia (Y=9) con antena en 13.8, 3.8, 15.9m

Así mismo con el fin de tener una mayor percepción de las conexiones inalámbricas dentro del escenario urbano, se muestra en las siguientes figuras una vista detallada correspondiente a una sección entre dos edificios respectivamente, en las que una vez más podemos observar la extrema dependencia de la localización de la antena con las variaciones típicas provocadas por la propagación de los rayos.

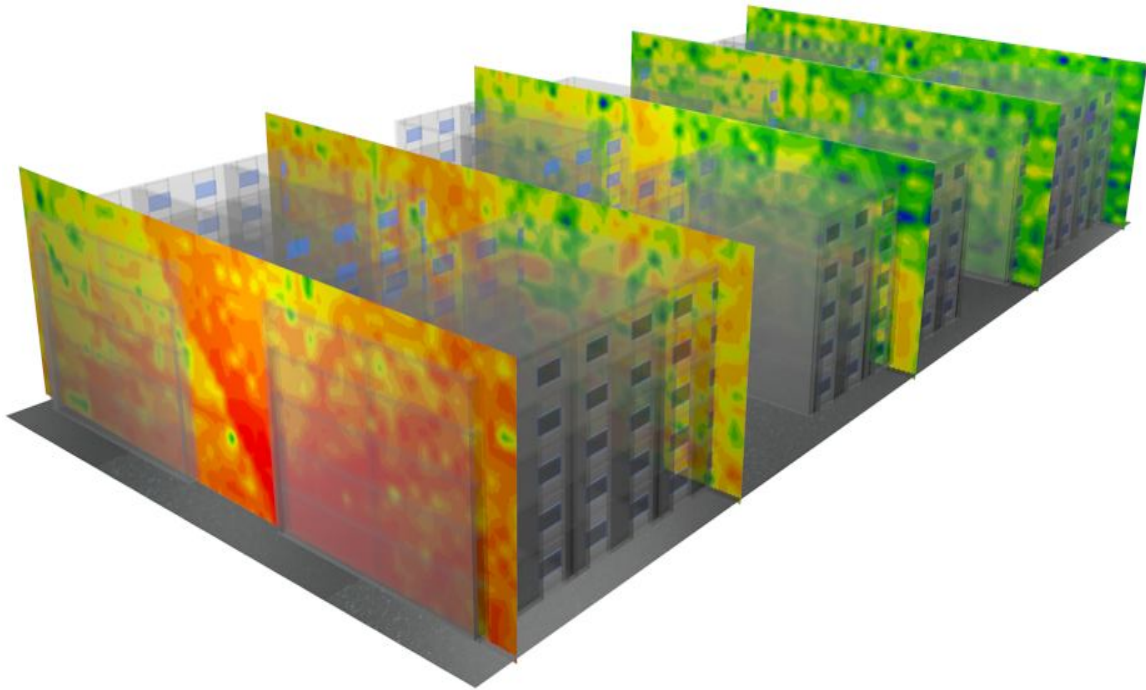


Figura65. Niveles de potencia para la frecuencia de 2.4 Ghz con antena en 3.8, 22.2, 1.6m en X=4, 30, 60, 90 Y 118 m, respectivamente.

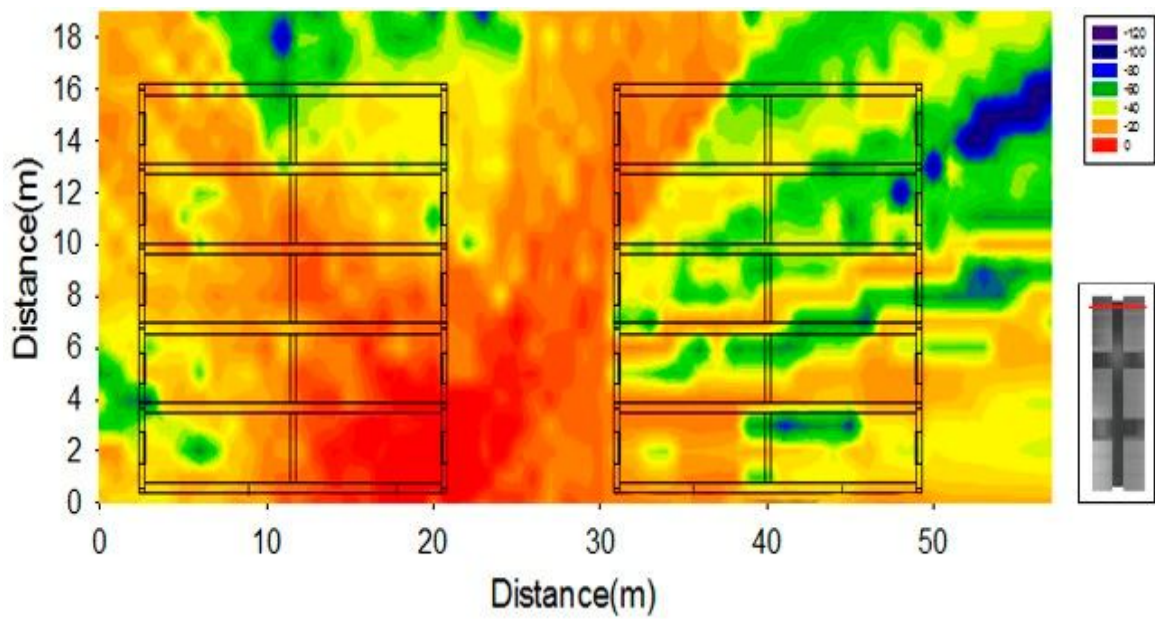


Figura66. Niveles de potencia para la frecuencia de 868 Mhz con antena en 3.8, 22.2, 1.6m en X=7

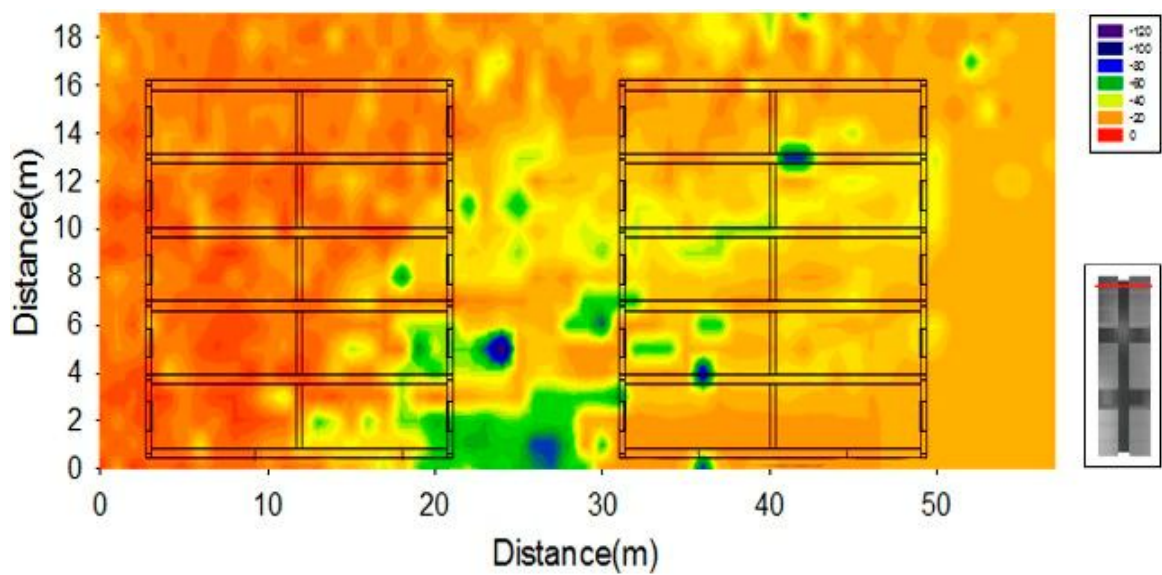


Figura67. Niveles de potencia para la frecuencia de 868 Mhz con antena en 13.8, 3.8, 1.6m en X=7

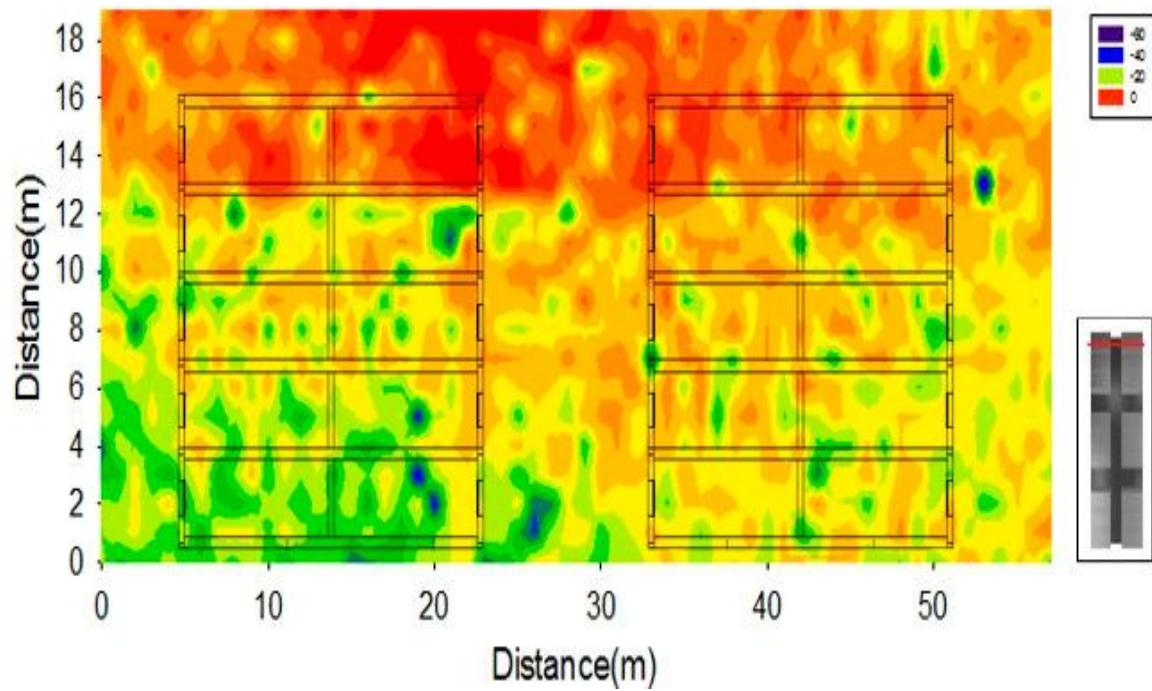


Figura68. Niveles de potencia para la frecuencia de 868Mhz con antena en 3.8, 22.2, 15.9m en X=7

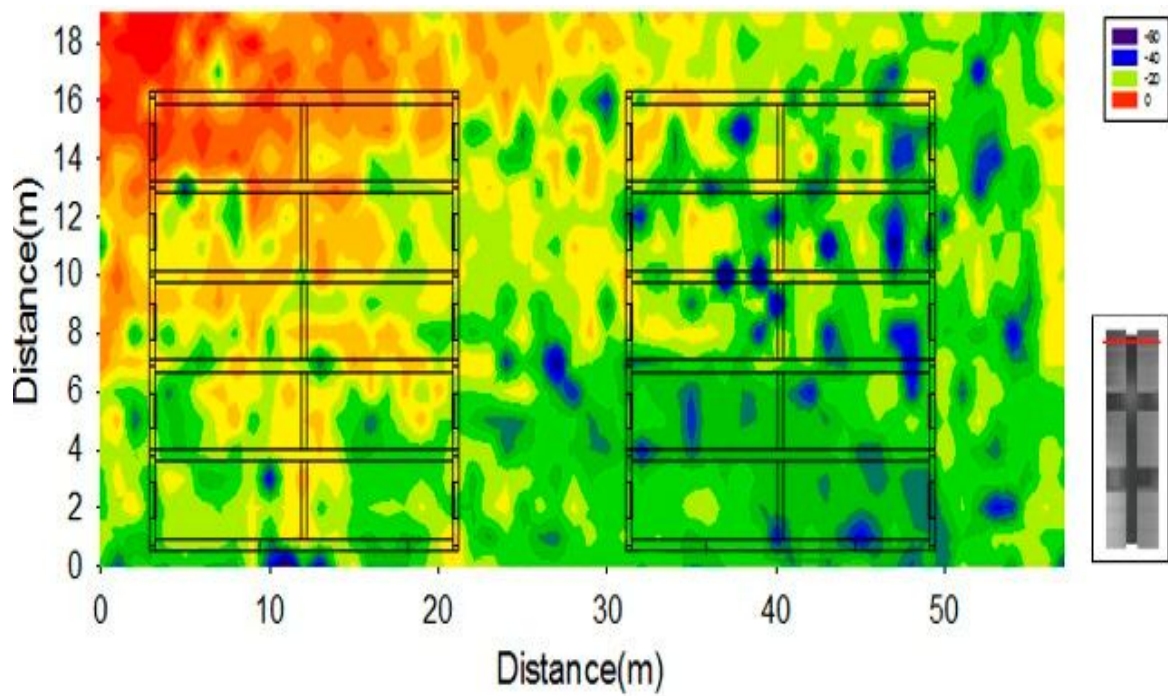


Figura69. Niveles de potencia para la frecuencia de 868 Mhz con antena en 13.8, 3.8, 15.9m en X=7

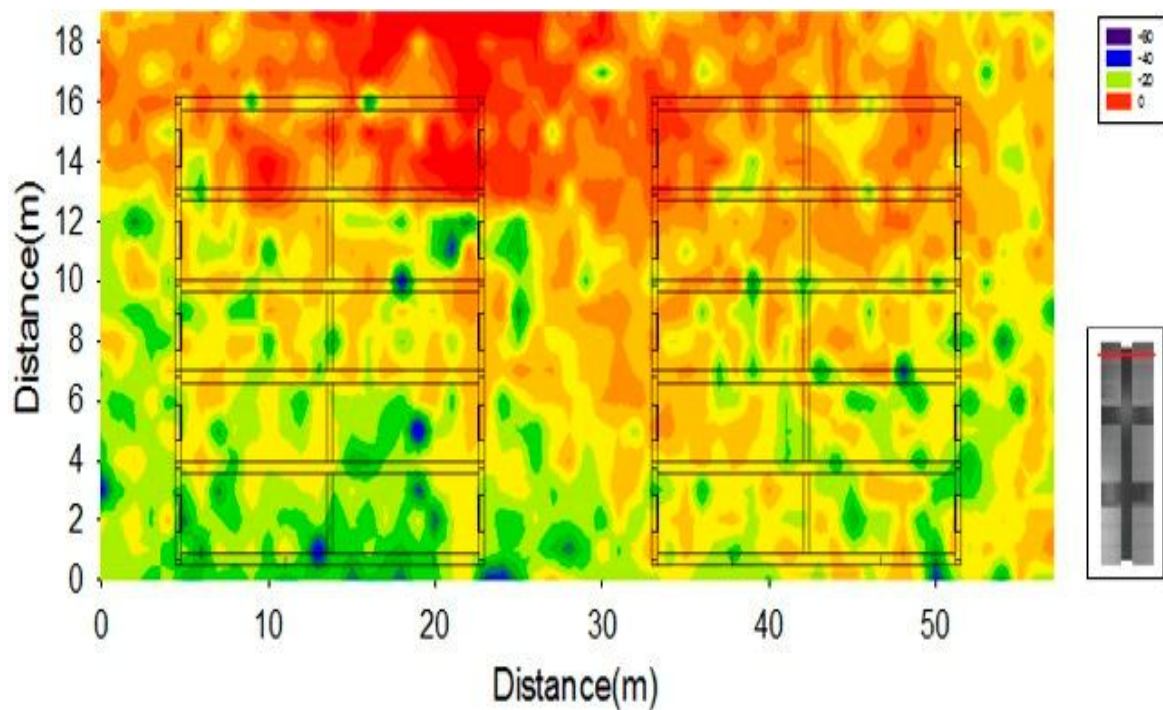


Figura72. Niveles de potencia para la frecuencia de 915 Mhz con antena en 3.8, 22.2, 15.9m en X=7

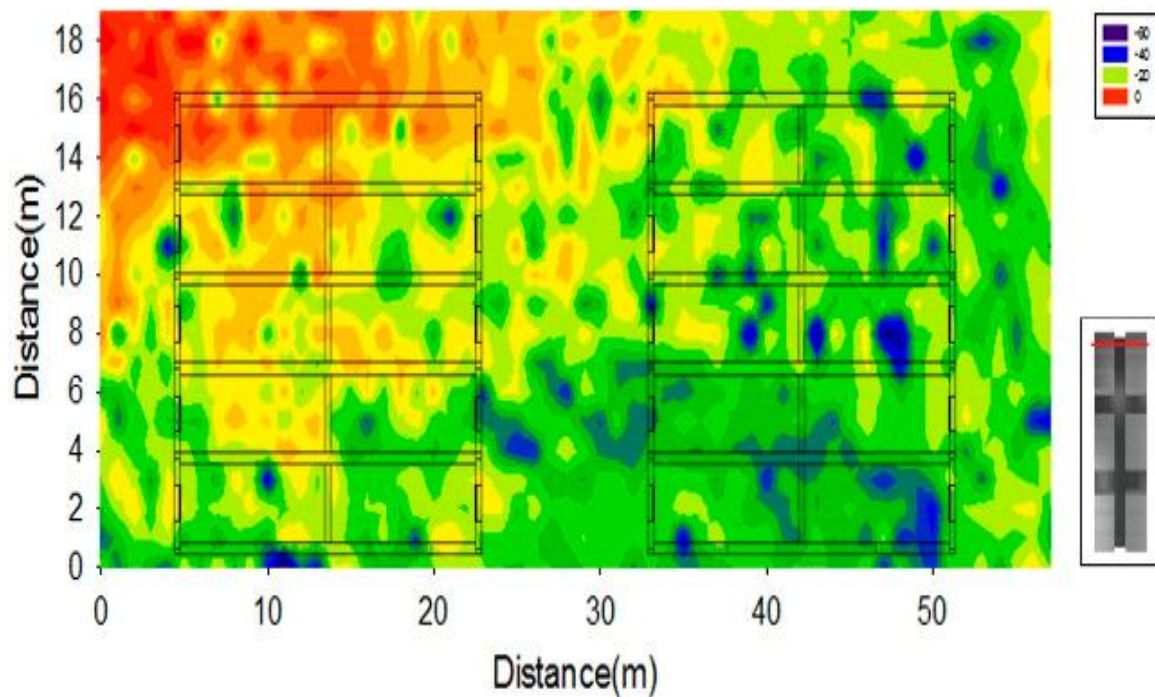


Figura73. Niveles de potencia para la frecuencia de 915 Mhz con antena en 13.8, 3.8, 15.9m en X=7

**Nota:**

- Si la antena emisora transmite a 0 dBm, los niveles de potencia recibida en cada antena receptora serán los niveles de pérdida de la señal, niveles de atenuación.
- Si la antena receptora no recibe señal dará como valor de potencia -200 dBm. Estos valores se aprecian en las figuras como cuadrados azules.

Cierto error, puede deberse a las limitaciones del programa, ya que no es capaz de implementar fenómenos importantes en la propagación indoor como son la difracción y el scattering.

Además hemos utilizado un máximo de 6 reflexiones y refracciones por rayo para conseguir la mayor precisión, pero en algún rayo puede que haya sido insuficiente, afectando en los valores obtenidos.

Así pues, analizando las gráficas podemos decir:

- Que se obtienen los valores de potencia más elevados en las zonas más cercanas a la antena transmisora y que esos valores van disminuyendo según nos alejamos.
- Que existen zonas con valores de potencia reducidos debido a que se encuentran cercanas a obstáculos como paredes o ventanas.
- Que otras han perdido potencia debido a los rebotes de los rayos y también que algunas zonas cercanas a los edificios ven reducida su potencia recibida por la influencia que estos ejercen en la propagación de la señal, como por ejemplo su absorción.

4.3.2 Radiales a diferentes alturas (1,2,3m y 15, 16m).

Por otra parte, con el fin de poder obtener una estimación cuantitativa del comportamiento del canal radioeléctrico, se han obtenido curvas de potencia en función de la distancia para las alturas anteriores, en forma de radiales para todo el volumen del escenario de simulación, que representan para cada una de las secciones de altura y anchura, la potencia a lo largo del escenario.

Partiendo de estos datos se obtiene pues, la potencia de la señal transmitida desde la antena Tx hasta los distintos puntos de recepción a lo largo del escenario. Pudiendo apreciarse los elementos que producen atenuaciones en el espacio, así como donde se encuentra la antena.

4.3.2.1 Antena situada en el suelo ($z=1.6\text{m}$).

De nuevo, diferenciaremos entre dos posiciones de la antena para la misma altura

4.3.2.1.1 Posición de la antena en 3.8, 22.2, 1.6 (ejes x, y, z en m).

- Para la frecuencia de 2.4 Ghz (Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth).

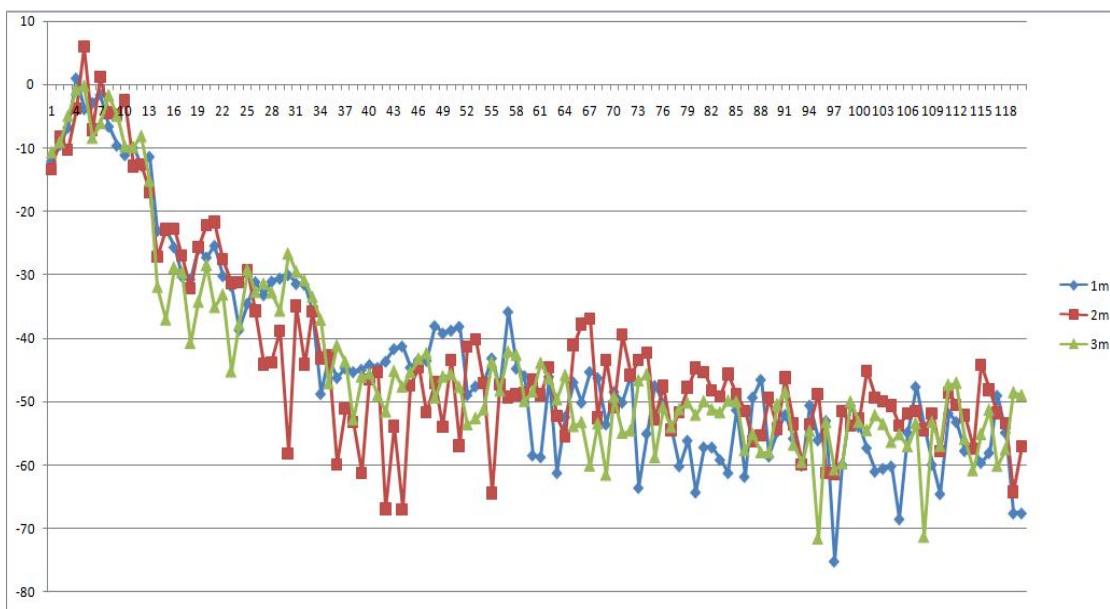


Figura74. Radial de Y=22m para las alturas de 1,2 y 3m respectivamente.

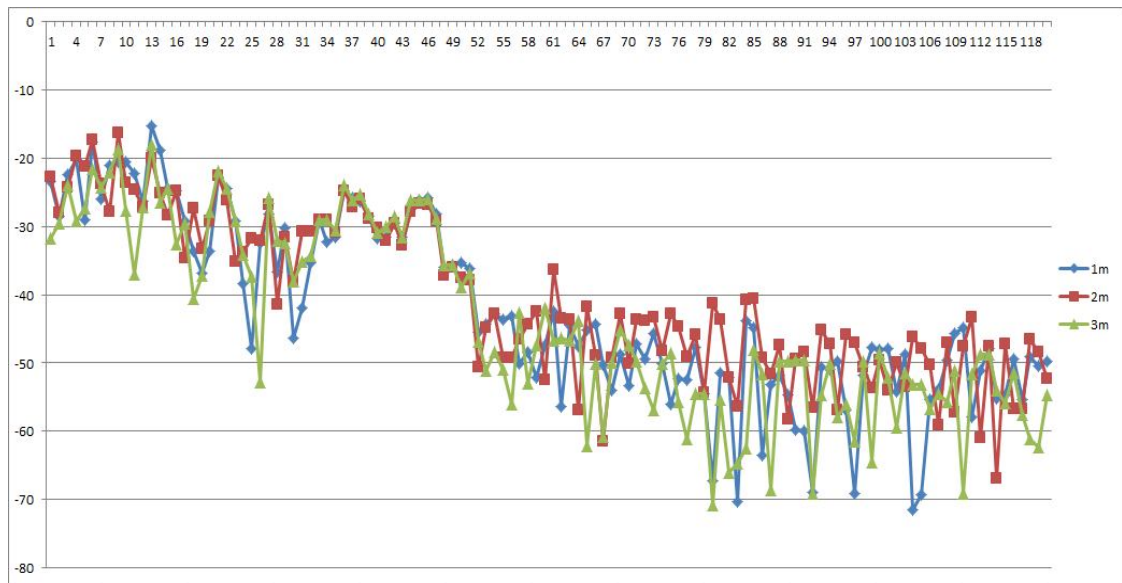


Figura75. Radial de Y=29m para las alturas de 1,2 y 3m respectivamente.

- Para la frecuencia de 868 Mhz (ZigBee).

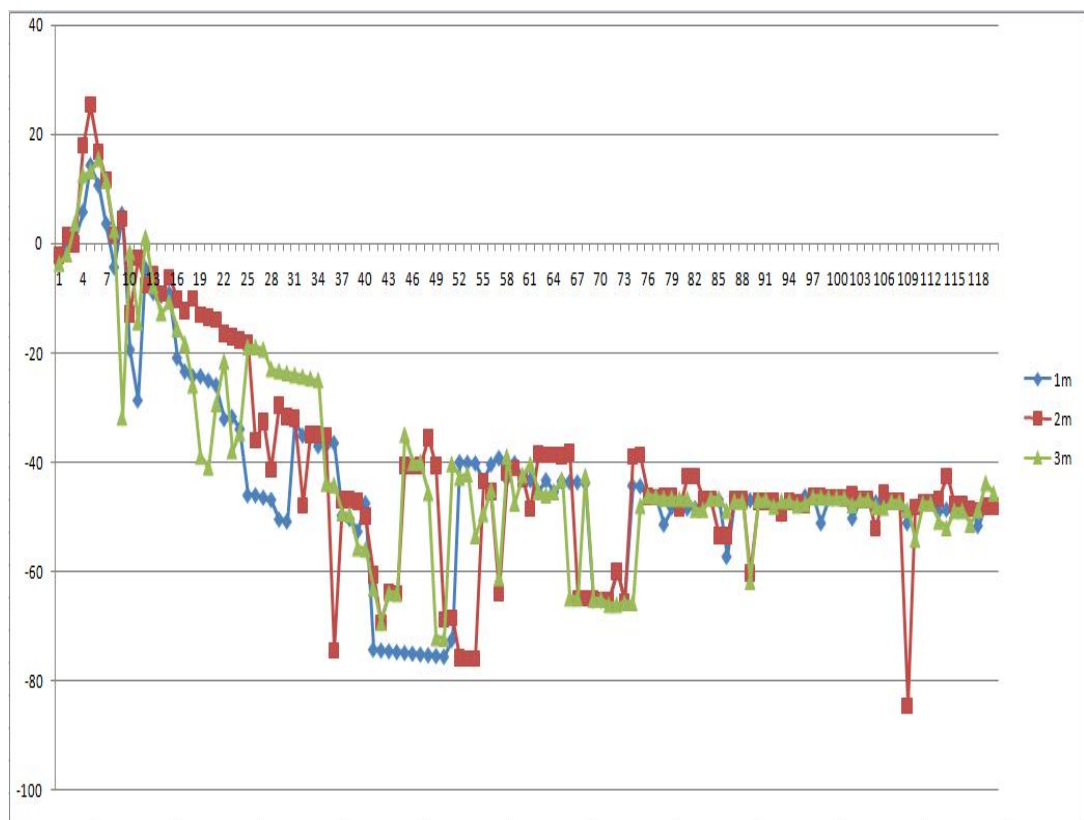


Figura76. Radial de Y=22m para las alturas de 1,2 y 3m respectivamente.

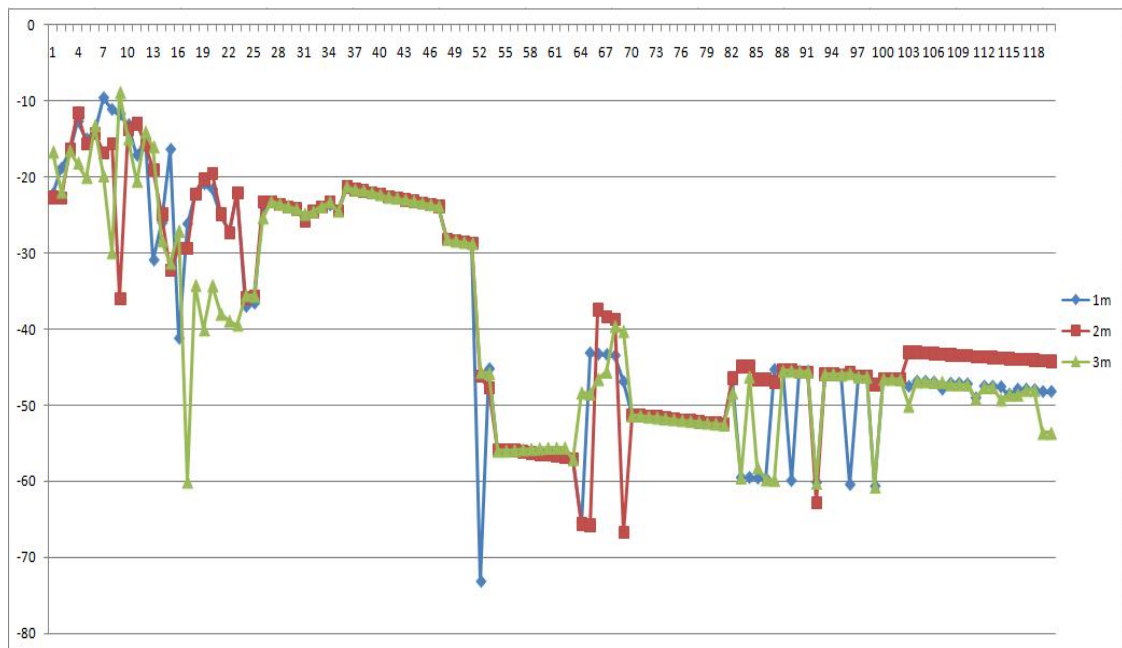


Figura77. Radial de Y=29m para las alturas de 1,2 y 3m respectivamente.

- Para la frecuencia de 915 Mhz (ZigBee).

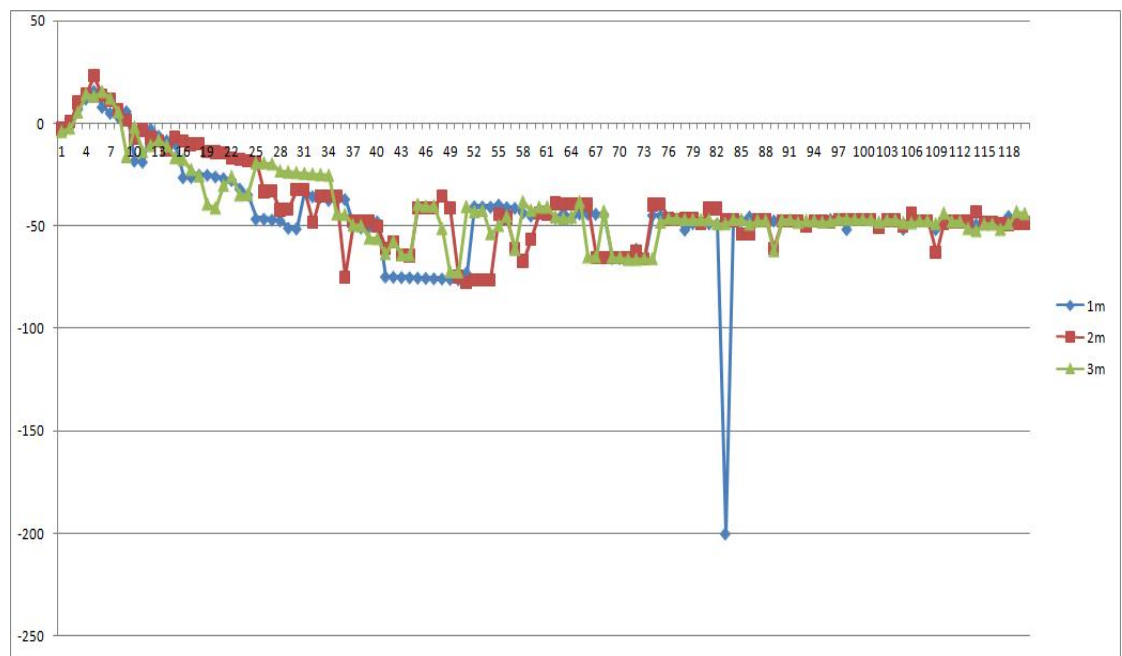


Figura78. Radial de Y=22m para las alturas de 1,2 y 3m respectivamente.

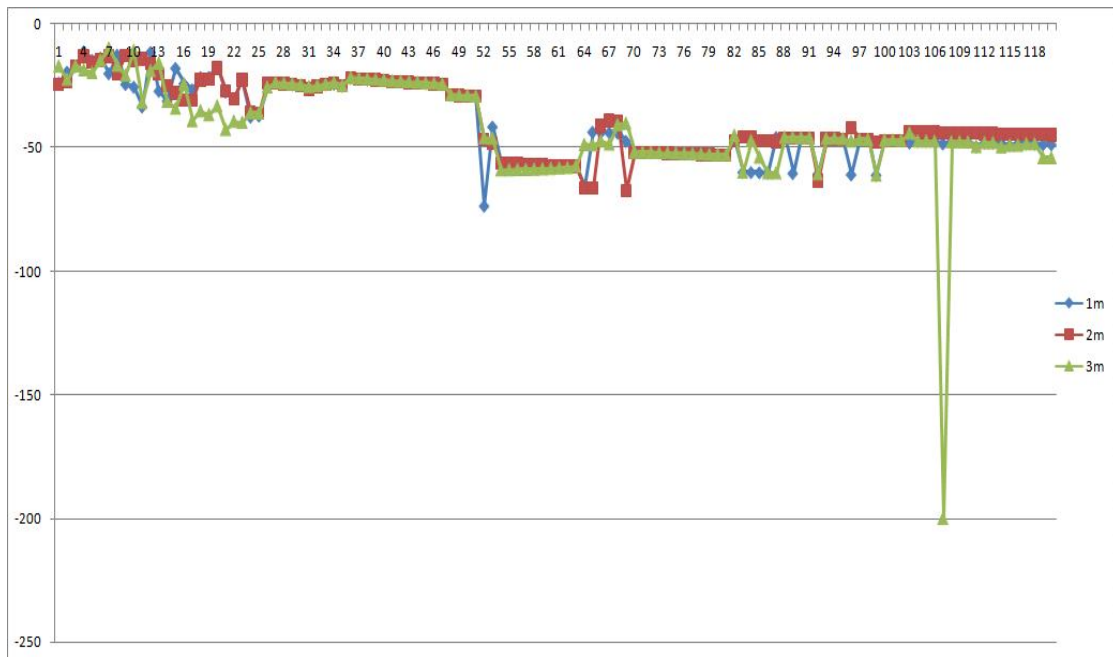


Figura79. Radial de Y=29m para las alturas de 1,2 y 3m respectivamente.

4.3.2.1.2 Posición de la antena en 13.8, 3.8, 1.6 (ejes x, y, z en m).

- Para la frecuencia de 2.4 Ghz (Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth).

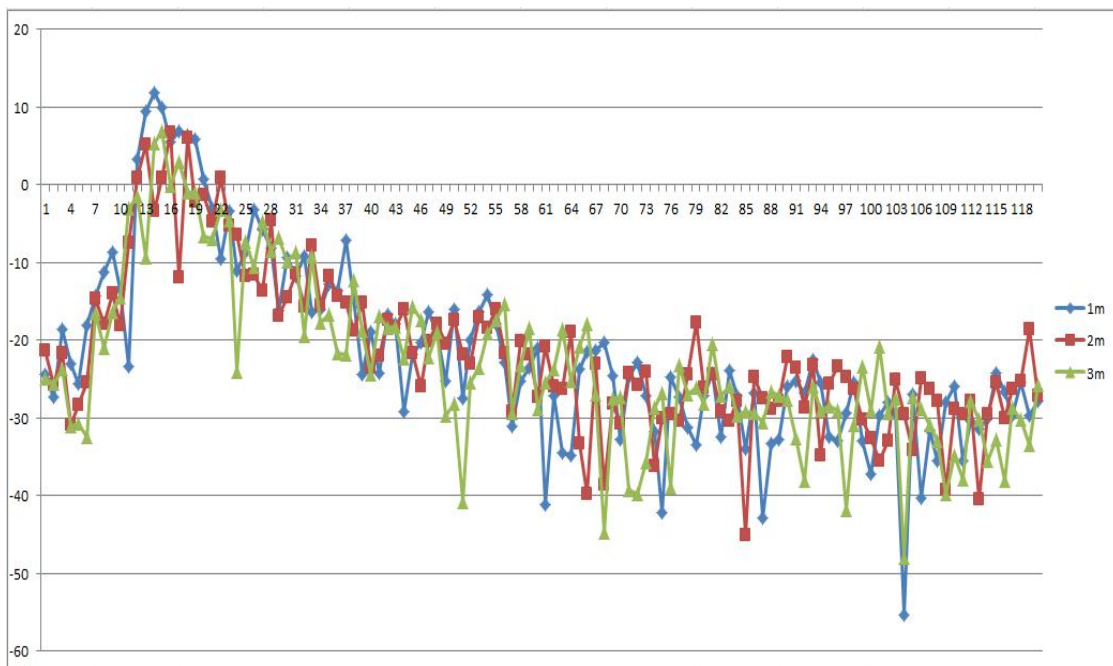


Figura80. Radial de Y=4m para las alturas de 1,2 y 3m respectivamente.

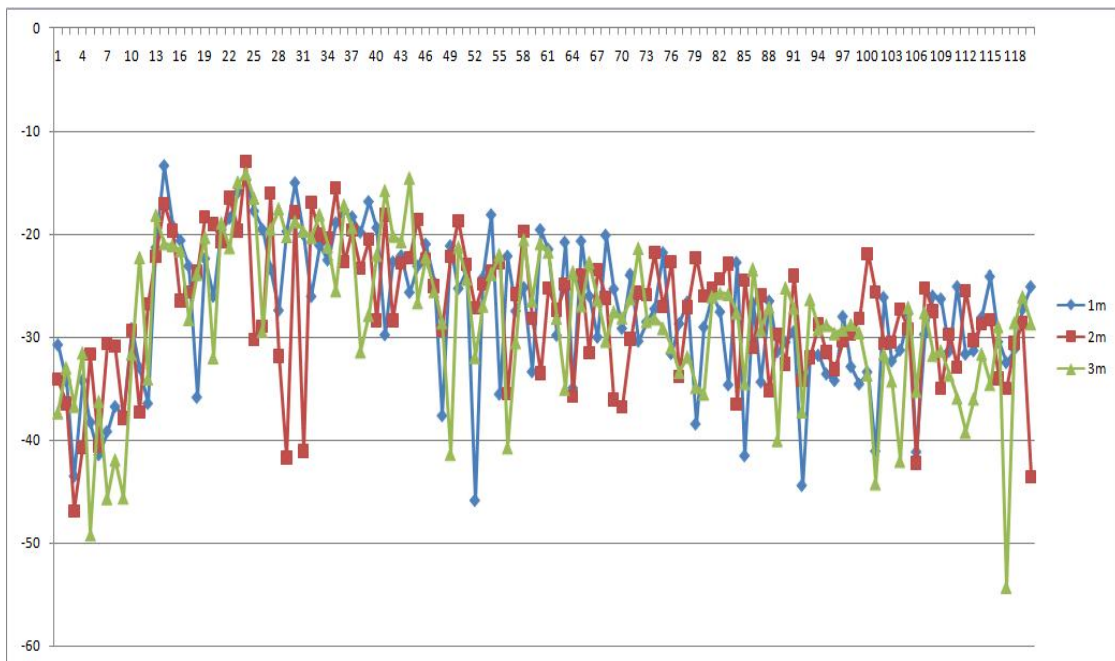


Figura81. Radial de Y=29m para las alturas de 1,2 y 3m respectivamente.

- Para la frecuencia de 868 Mhz (ZigBee).

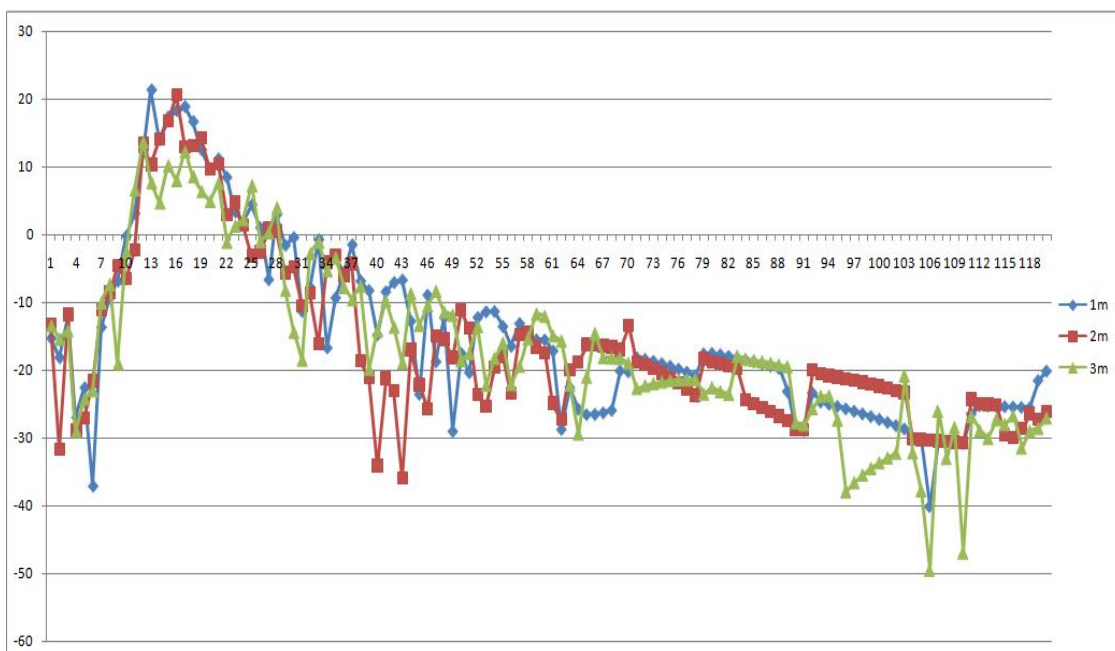


Figura82. Radial de Y=4m para las alturas de 1,2 y 3m respectivamente.

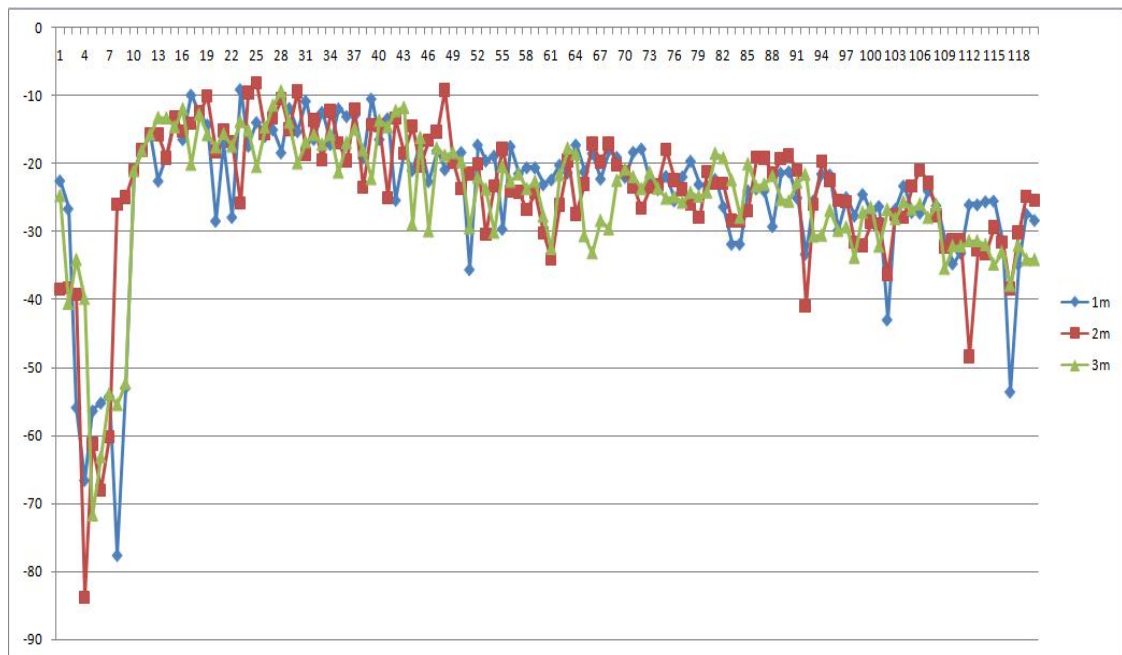


Figura83. Radial de Y=29m para las alturas de 1,2 y 3m respectivamente.

- **Para la frecuencia de 915 Mhz (ZigBee).**

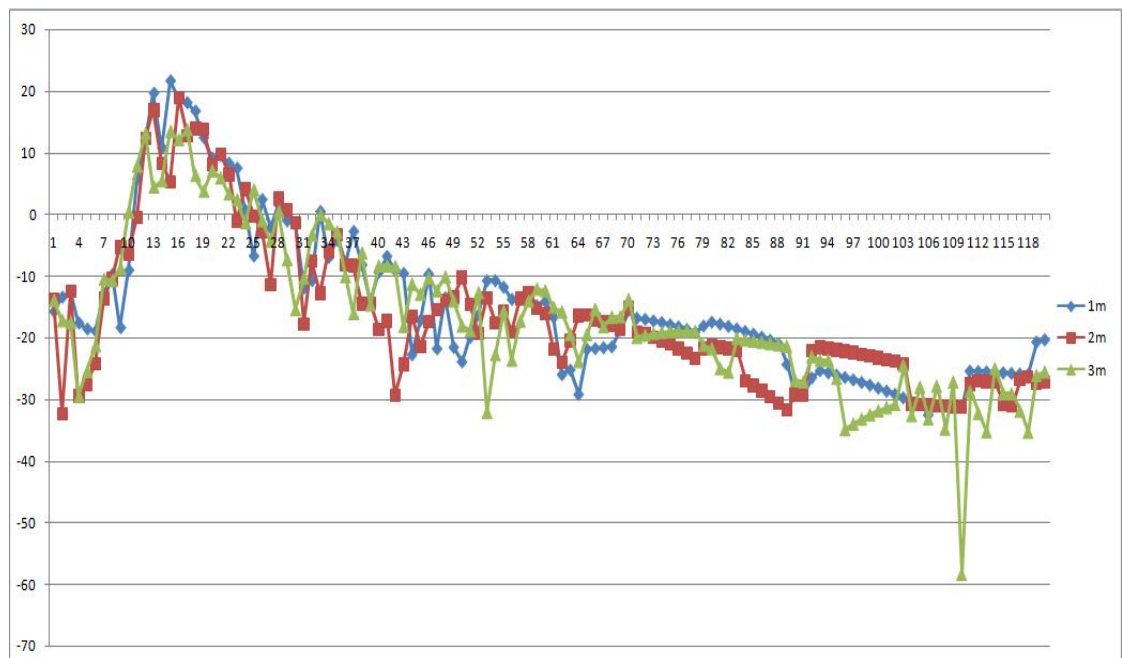


Figura84. Radial de Y=4m para las alturas de 1,2 y 3m respectivamente.

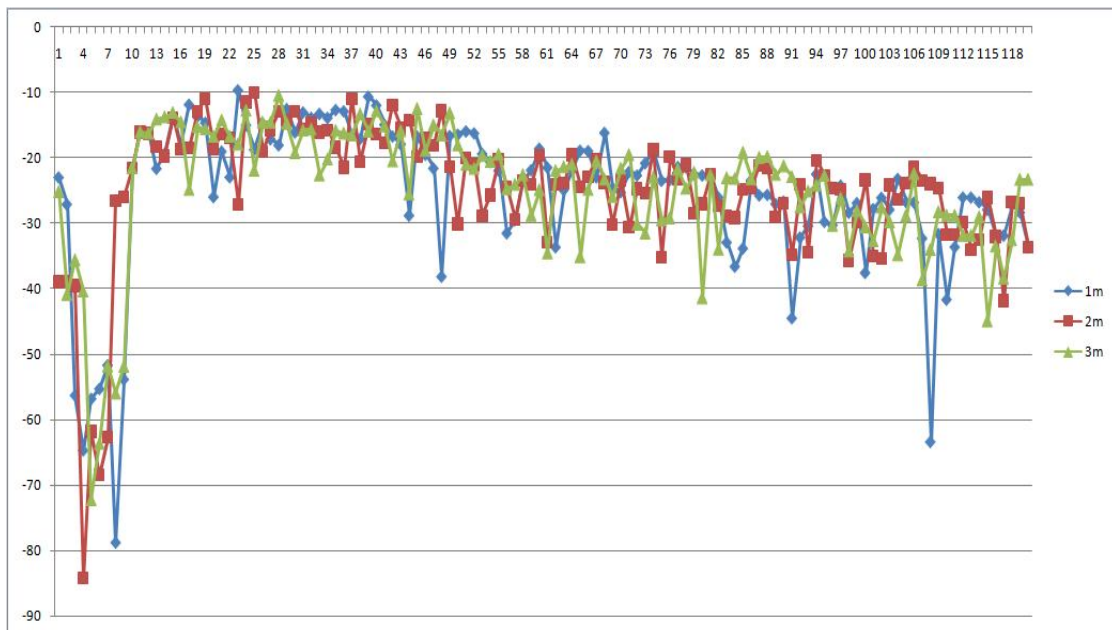


Figura85. Radial de Y=29m para las alturas de 1,2 y 3m respectivamente.

4.3.2.2 Antena situada en el tejado (z=15.9m).

Volveremos a diferenciar entre dos posiciones de la antena para la misma altura.

4.3.2.2.1 Posición de la antena en 3.8, 22.2, 15.9 (ejes x, y, z en m).

- Para la frecuencia de 2.4 Ghz (Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth).

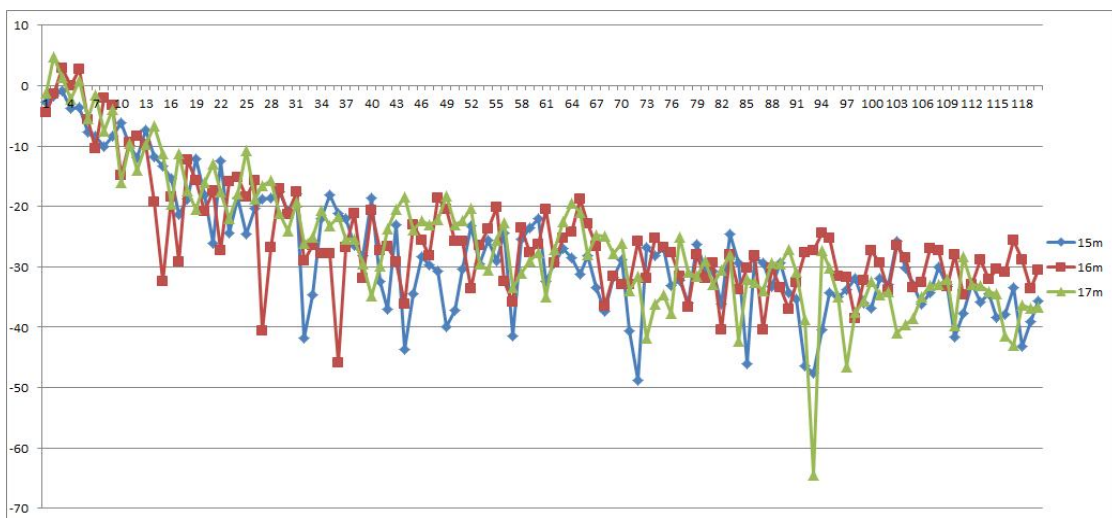


Figura86. Radial de Y=22m para las alturas de 15, 16 y 17m respectivamente.

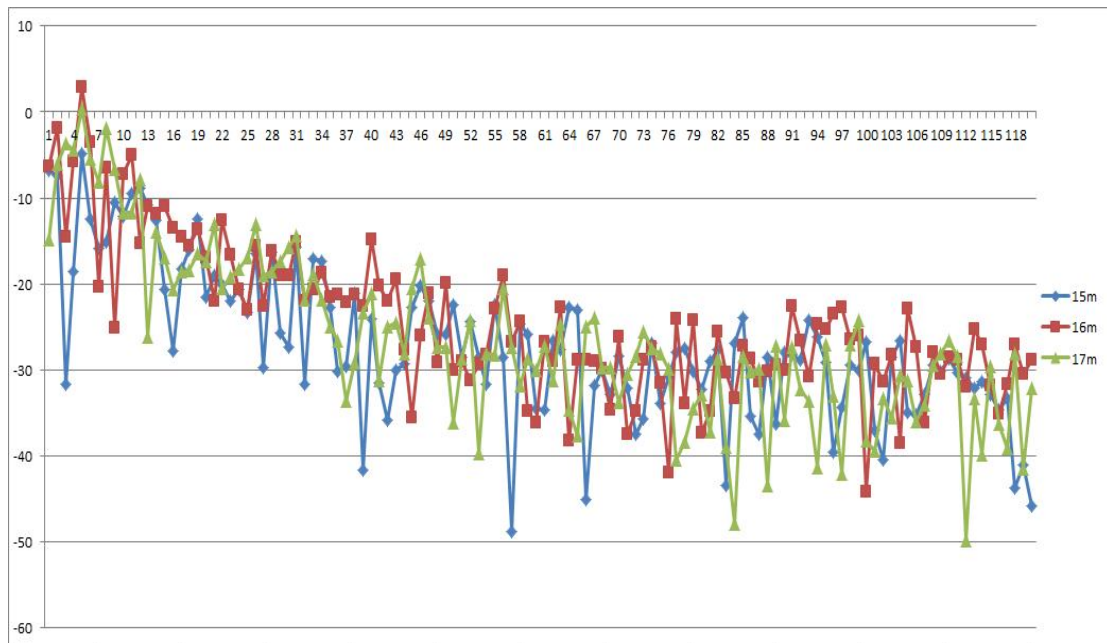


Figura87. Radial de Y=29m para las alturas de 15, 16 y 17m respectivamente.

- Para la frecuencia de 868 Mhz (ZigBee).

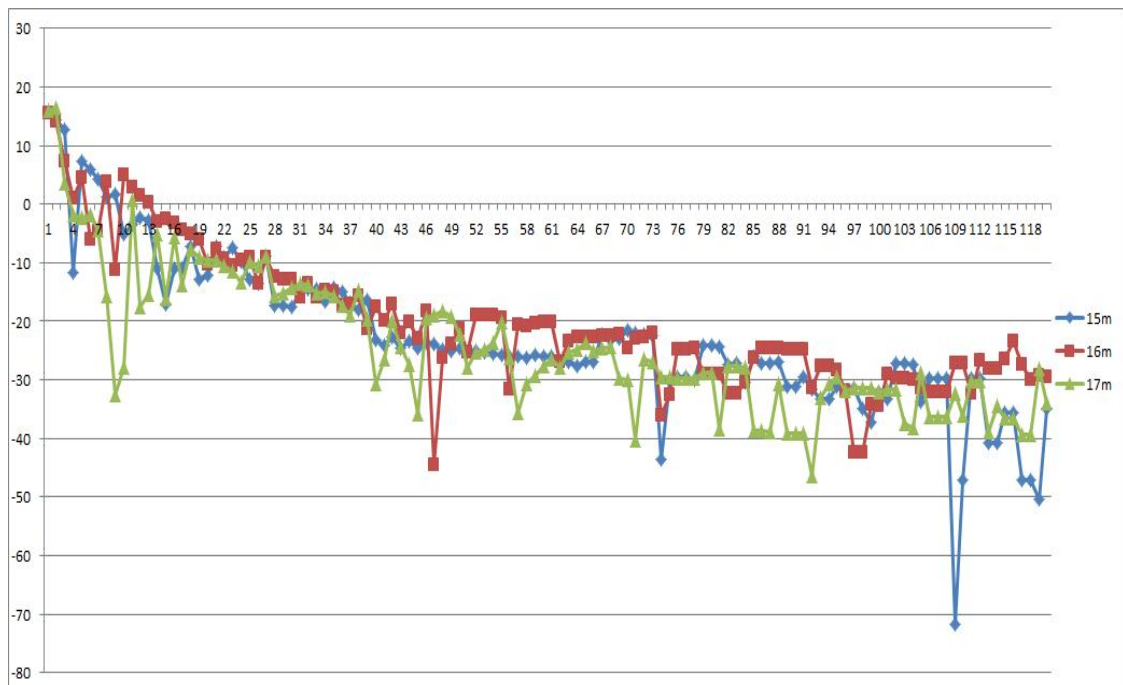


Figura88. Radial de Y=22m para las alturas de 15, 16 y 17m respectivamente.

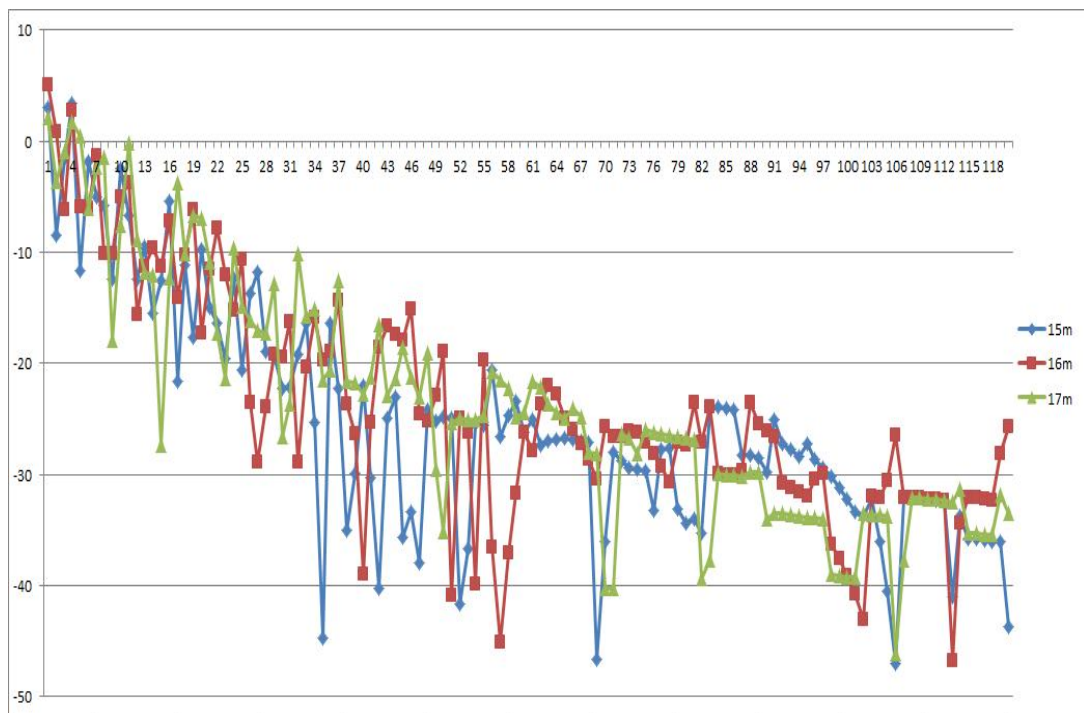


Figura89. Radial de Y=29m para las alturas de 15, 16 y 17m respectivamente.

- Para la frecuencia de 915Mhz (ZigBee).

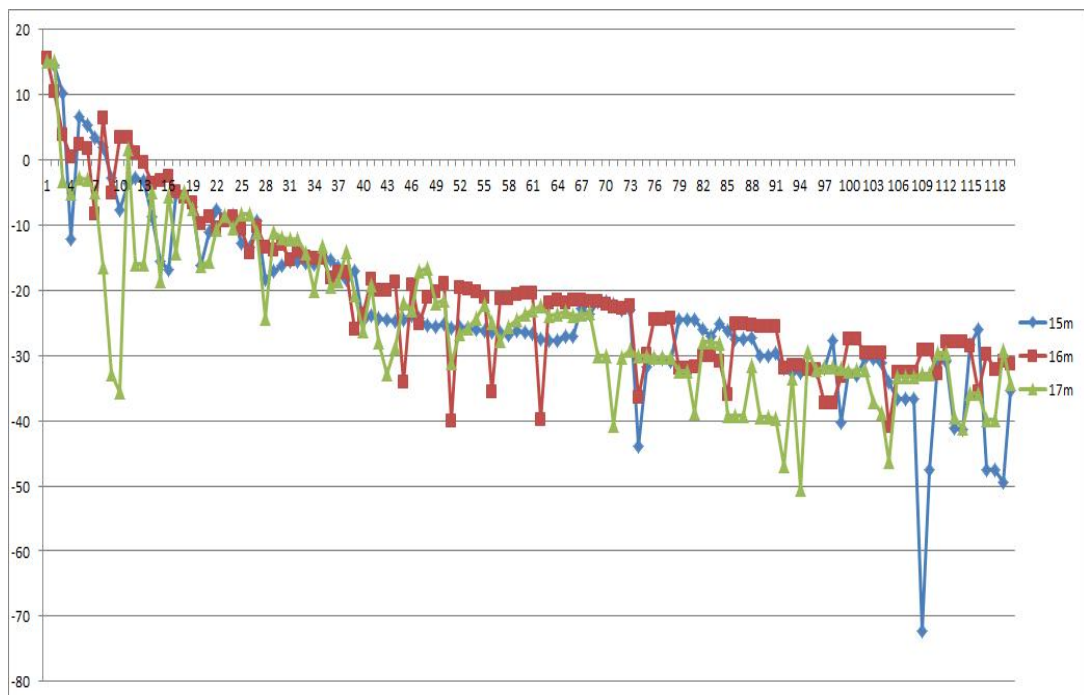


Figura90. Radial de Y=22m para las alturas de 15, 16 y 17m respectivamente.

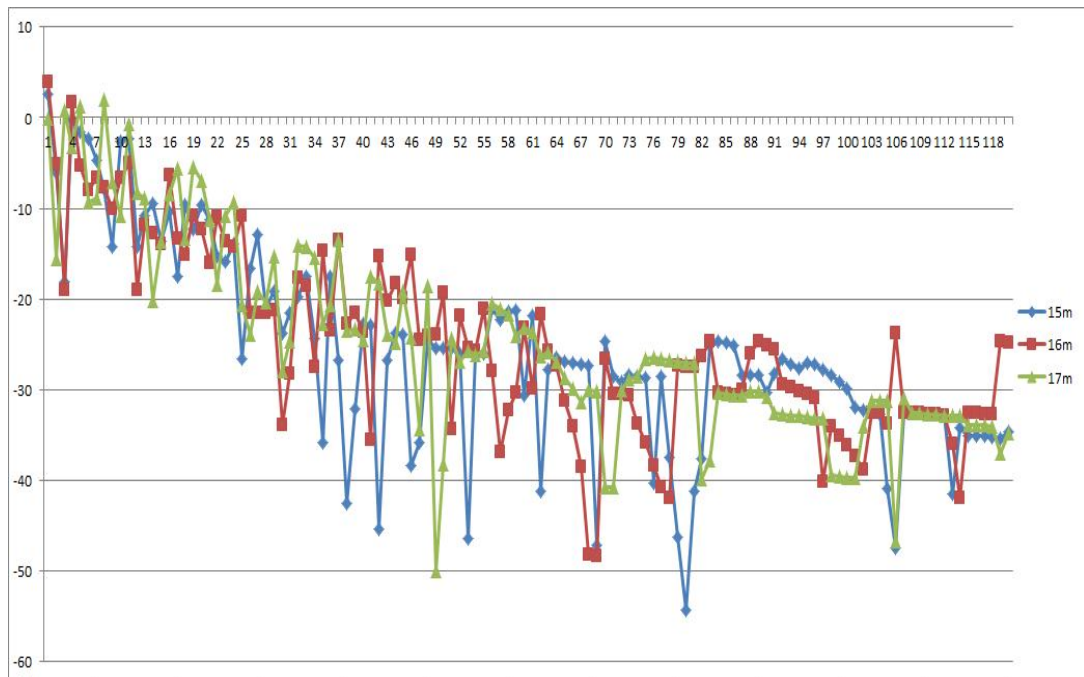


Figura91. Radial de Y=29m para las alturas de 15, 16 y 17m respectivamente.

4.3.2.2.2 Posición de la antena en 13.8, 3.8, 15.9 (ejes x, y, z en m).

- Para la frecuencia de 2.4 Ghz (Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth).

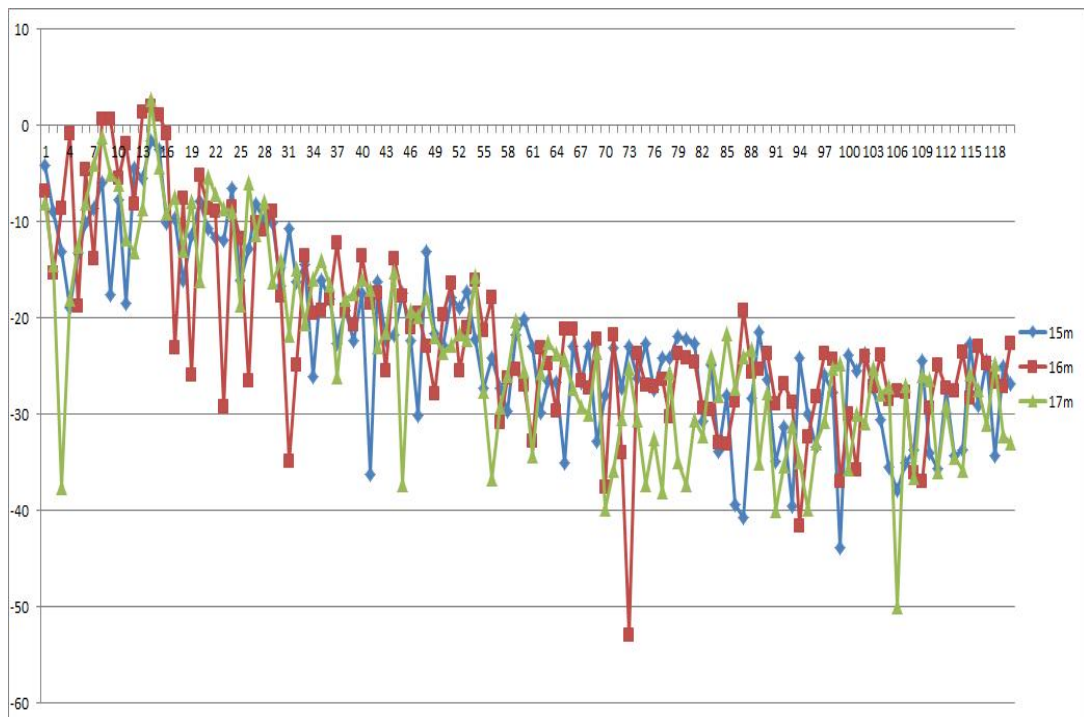


Figura92. Radial de Y=4m para las alturas de 15, 16 y 17m respectivamente.

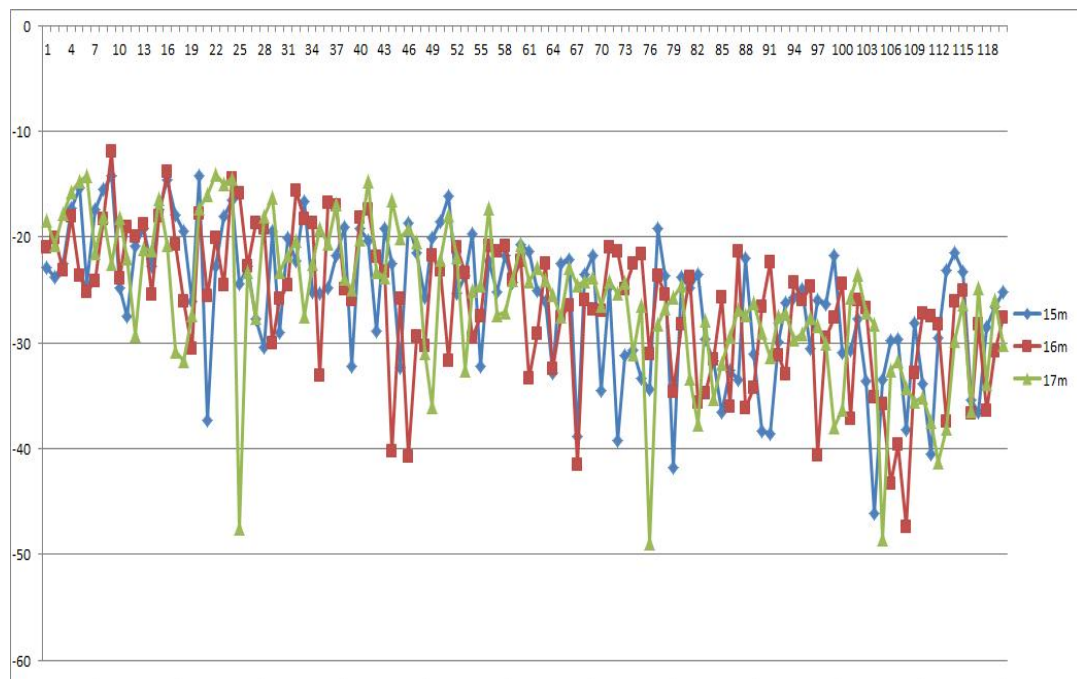


Figura93. Radial de Y=29m para las alturas de 15, 16 y 17m respectivamente.

- Para la frecuencia de 868 Mhz (ZigBee).

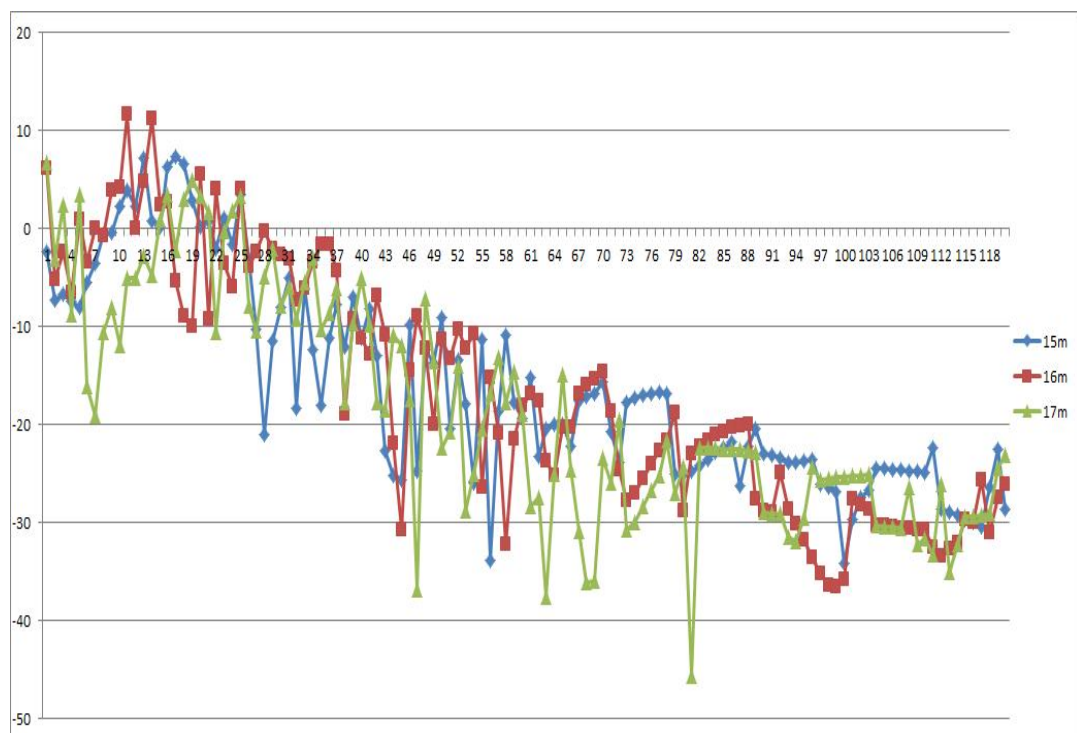


Figura94. Radial de Y=4m para las alturas de 15, 16 y 17m respectivamente.

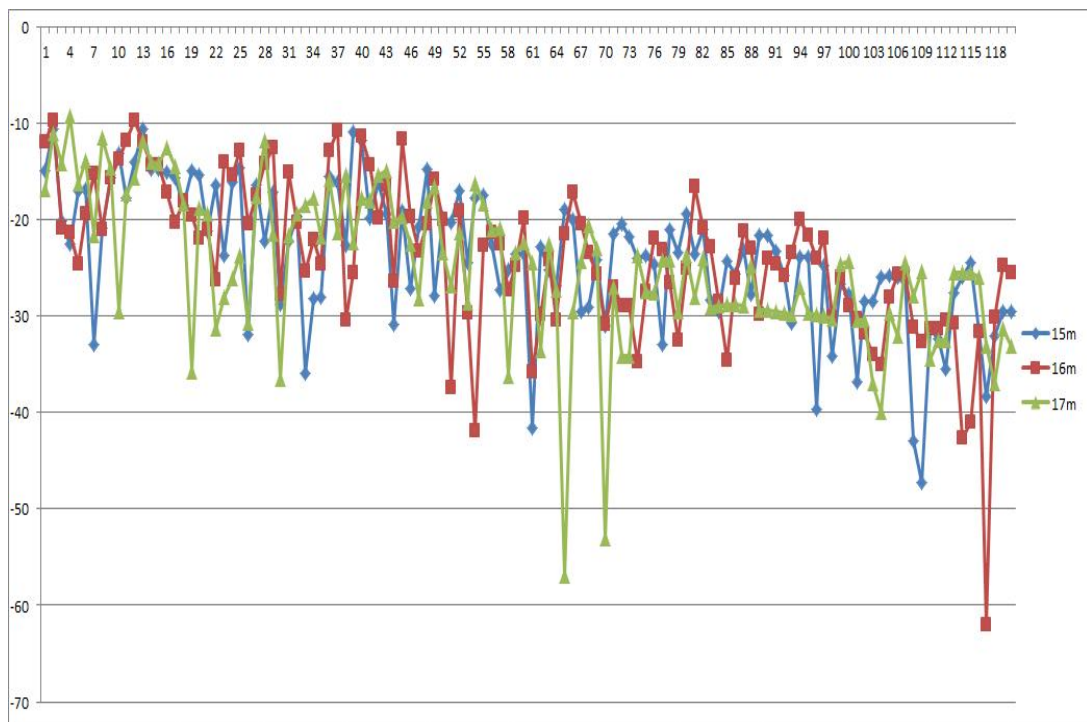


Figura95. Radial de Y=29m para las alturas de 15, 16 y 17m respectivamente.

- **Para la frecuencia de 915 Mhz (ZigBee).**

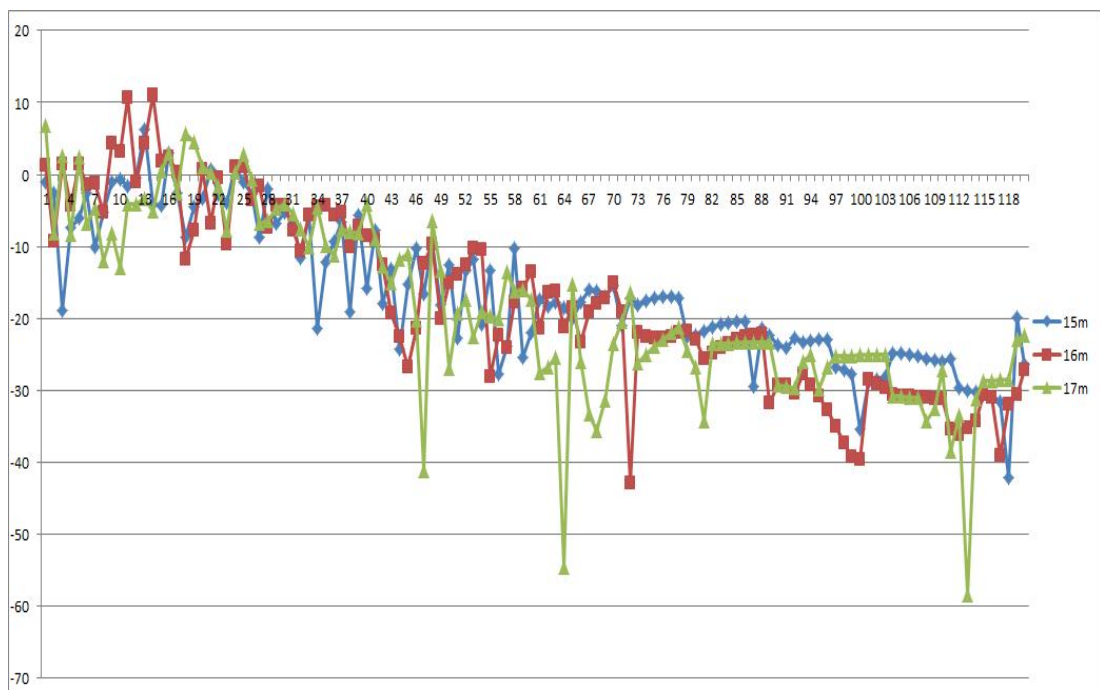


Figura96. Radial de Y=4m para las alturas de 15, 16 y 17m respectivamente.

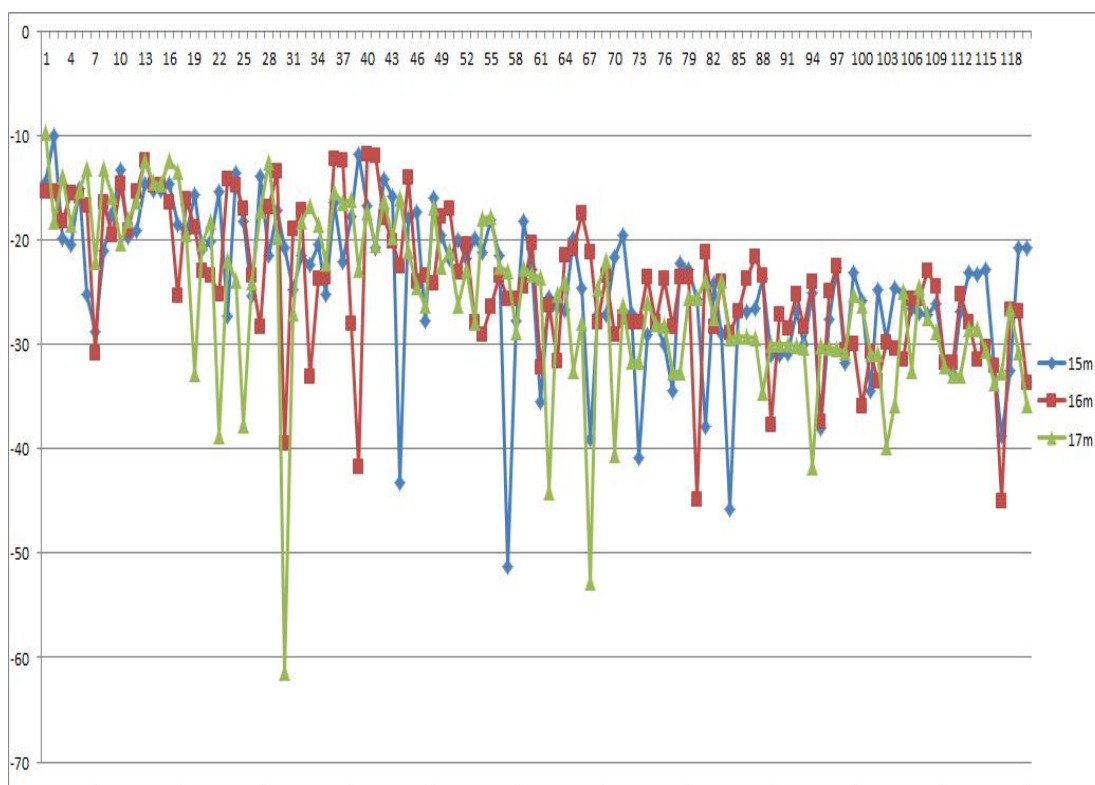


Figura97. Radial de Y=29m para las alturas de 15, 16 y 17m respectivamente.

4.3.3 Comparativa de Radiales a diferentes potencias (18, 30 y -10 dBm), pero misma altura (2m y 16m), frente a los Umbrales de Sensibilidad de las Tecnologías Inalámbricas Wi-Fi, Bluetooth y ZigBee.

Esta comparativa se lleva a cabo con la finalidad de conocer qué localización y potencia de la antenna son las más óptimas para que los niveles resultantes de la simulación cumplan con el requerimiento que exige que:

$$\text{SENSIBILIDAD}_{\text{Rx}} \leq \text{POTENCIA}_{\text{Rx}}$$

4.3.3.1 Antena situada en el suelo (z=1.6m).

Diferenciaremos entre dos posiciones de la antenna para la misma altura.

4.3.3.1.1 Posición de la antenna en 3.8, 22.2, 1.6 (ejes x, y, z en m).

- Para la frecuencia de 2.4 Ghz (Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth).

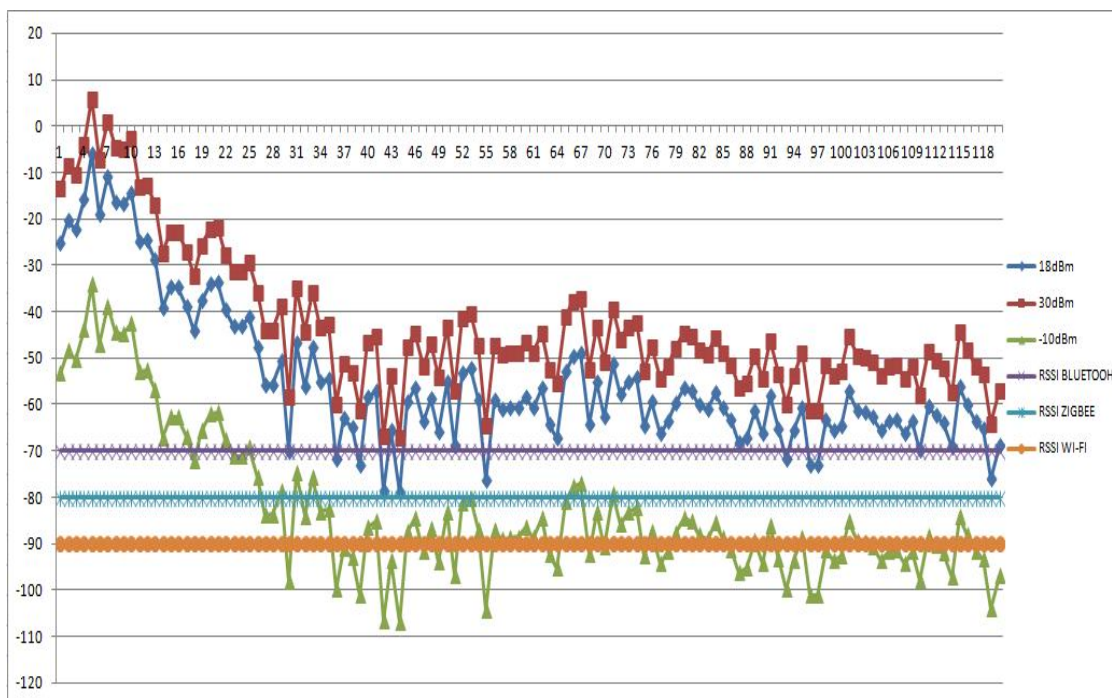


Figura98. Radial de Y=22m para la altura de 2 metros.

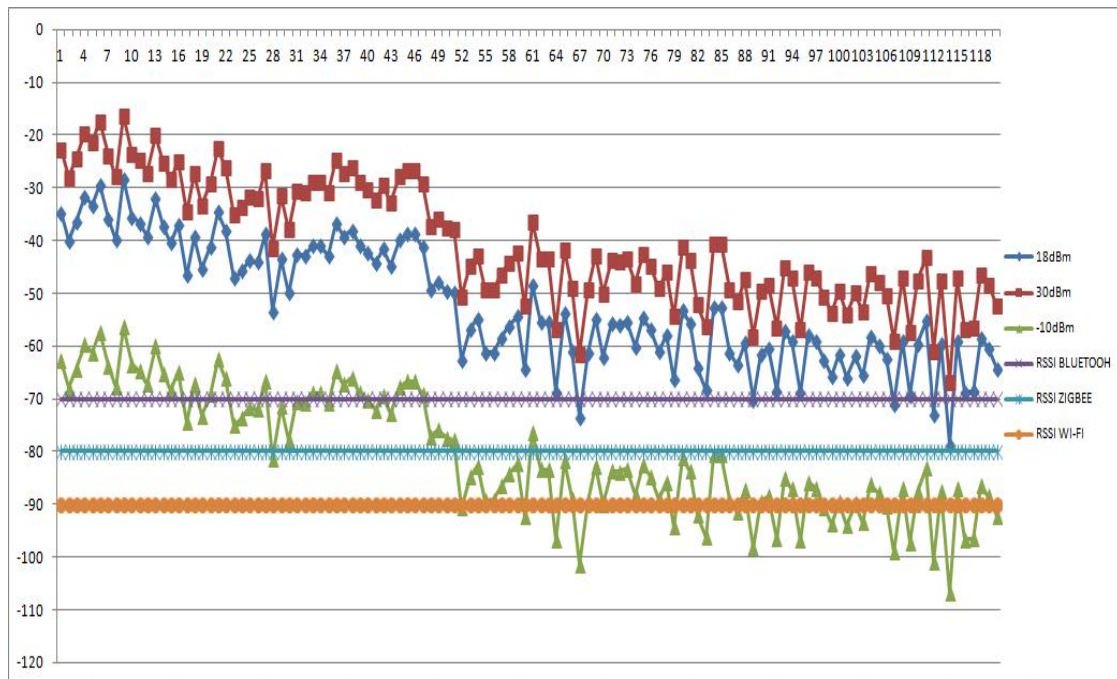


Figura99. Radial de Y=29m para la altura de 2 metros.

- Para la frecuencia de 868Mhz (ZigBee).

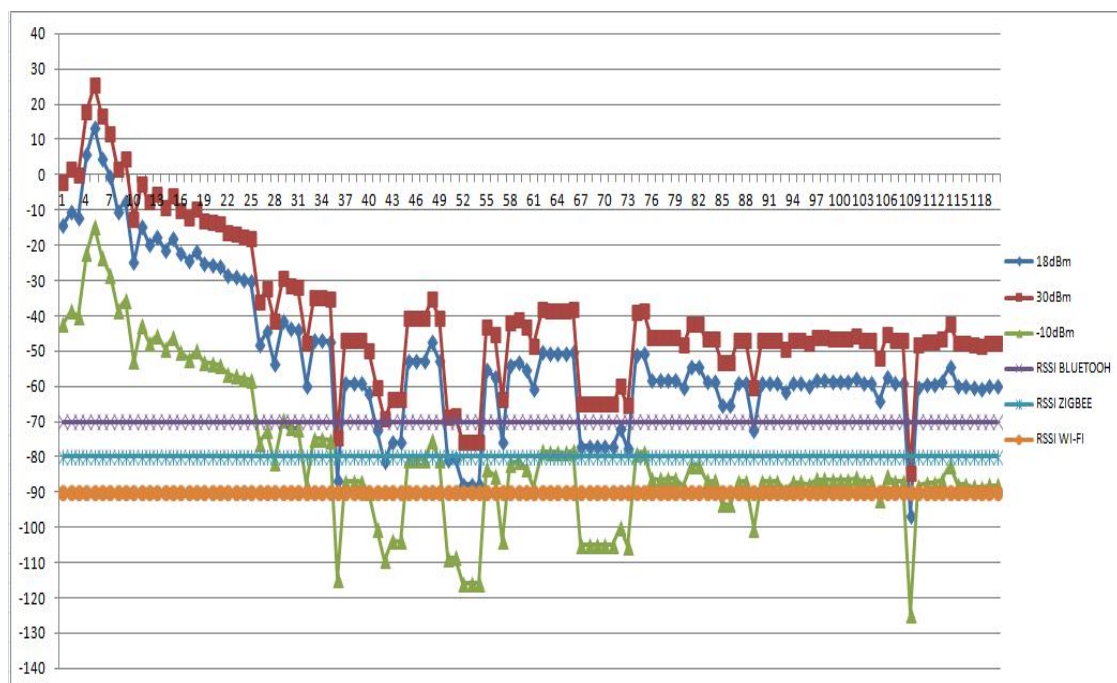


Figura100. Radial de Y=22m para la altura de 2 metros.

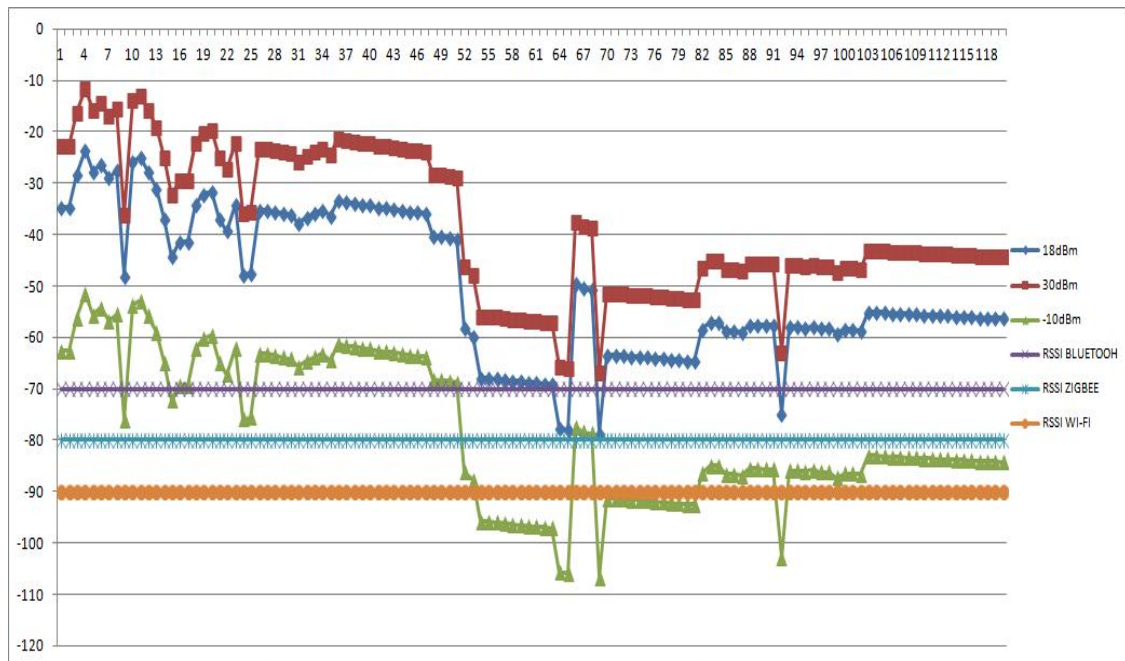


Figura101. Radial de Y=29m para la altura de 2 metros.

- **Para la frecuencia de 915Mhz (ZigBee).**

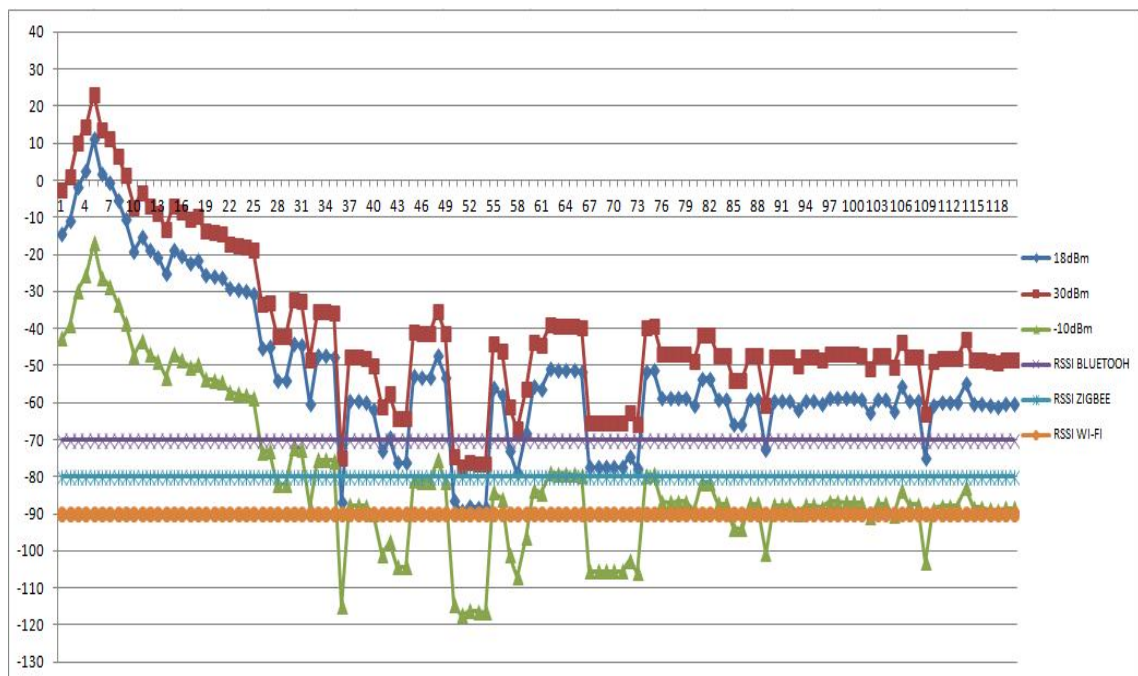
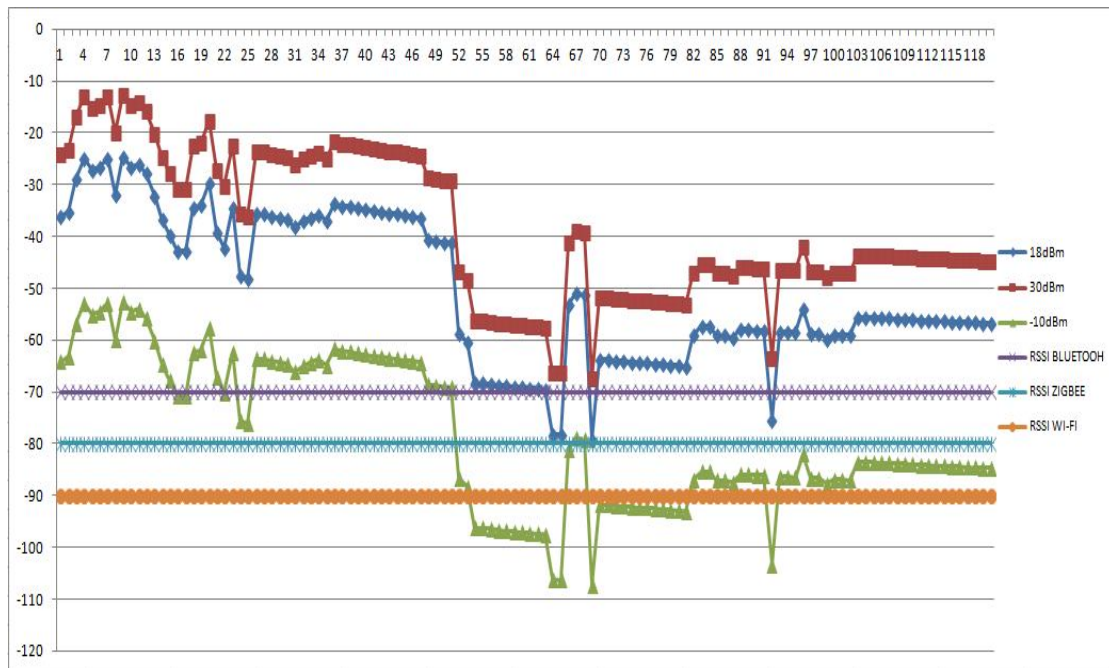
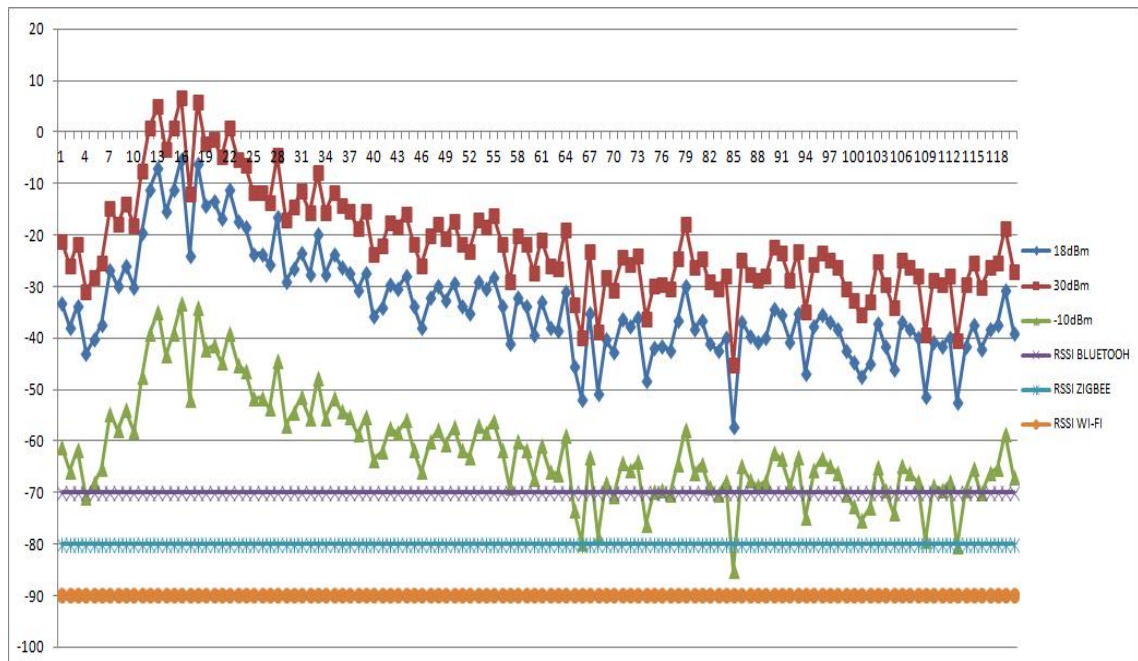


Figura102. Radial de Y=22m para la altura de 2 metros.



4.3.3.1.2 Posición de la antena en 13.8, 3.8, 1.6 (ejes x, y, z en m).

- Para la frecuencia de 2.4 Ghz (Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth).



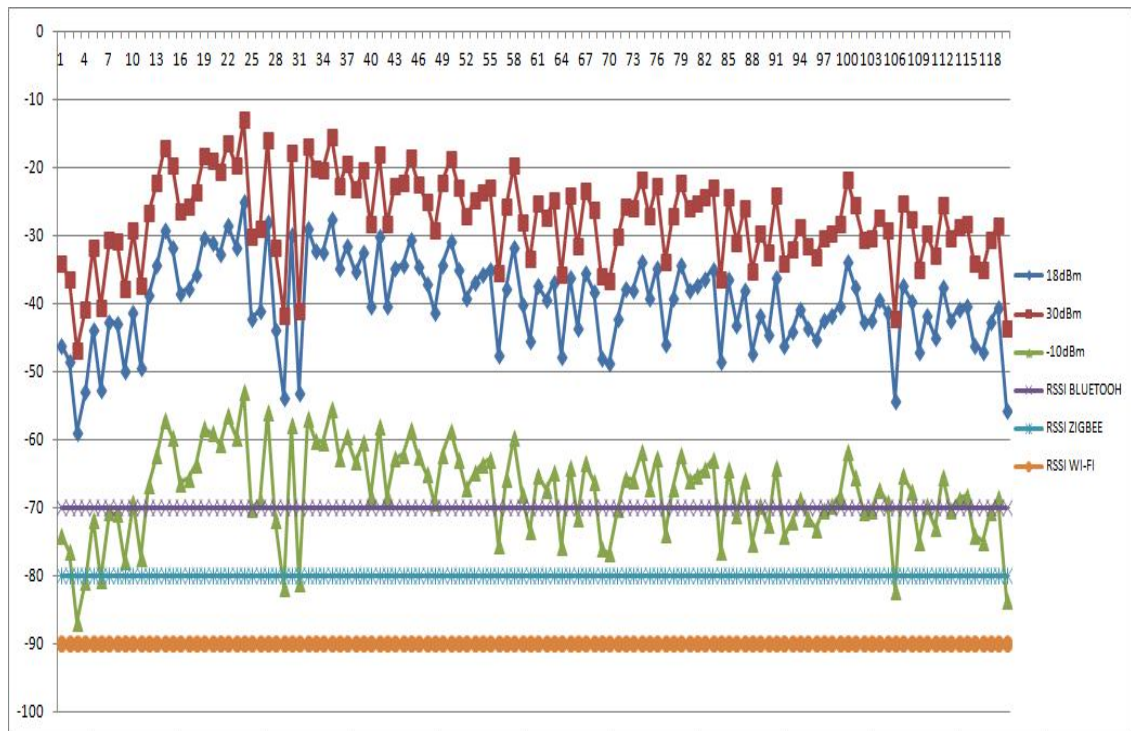


Figura105. Radial de Y=29m para la altura de 2 metros.

- Para la frecuencia de 868Mhz (ZigBee).

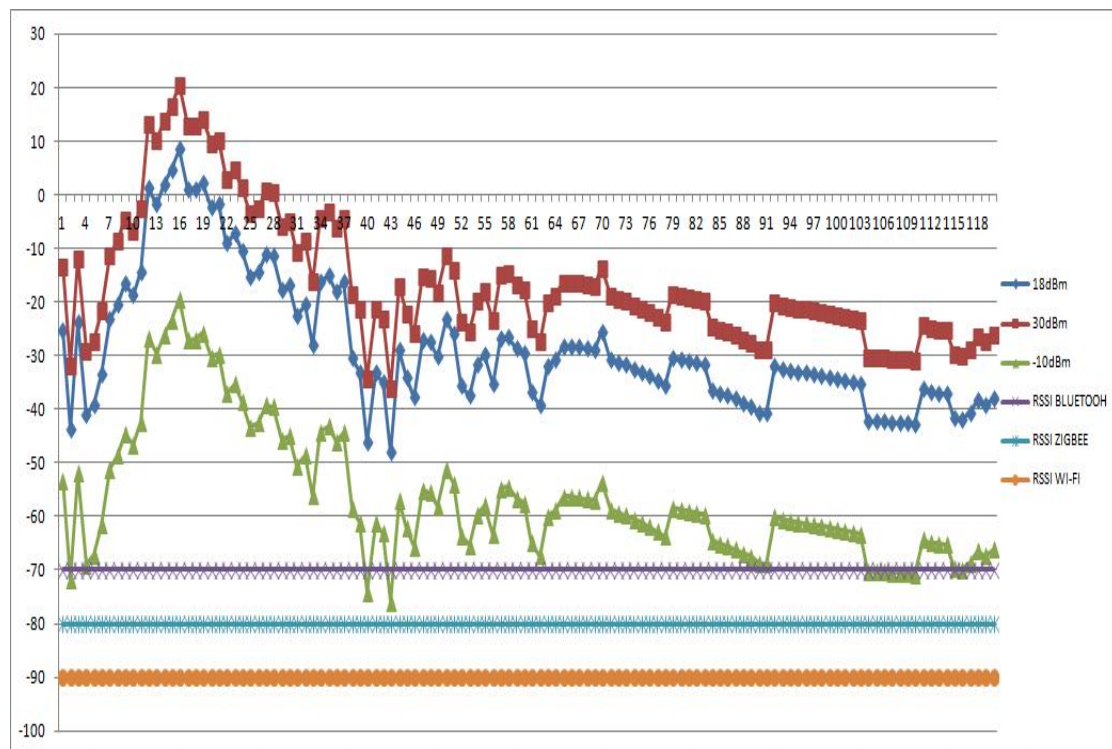


Figura106. Radial de Y=4m para la altura de 2 metros.

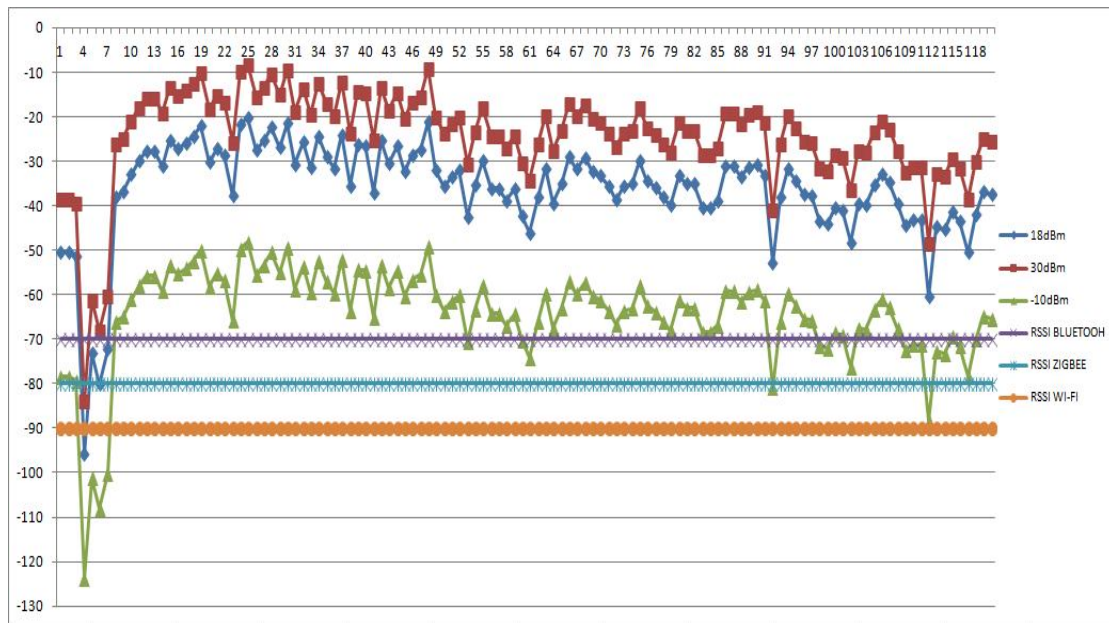


Figura107. Radial de Y=29m para la altura de 2 metros.

- **Para la frecuencia de 915Mhz (ZigBee).**

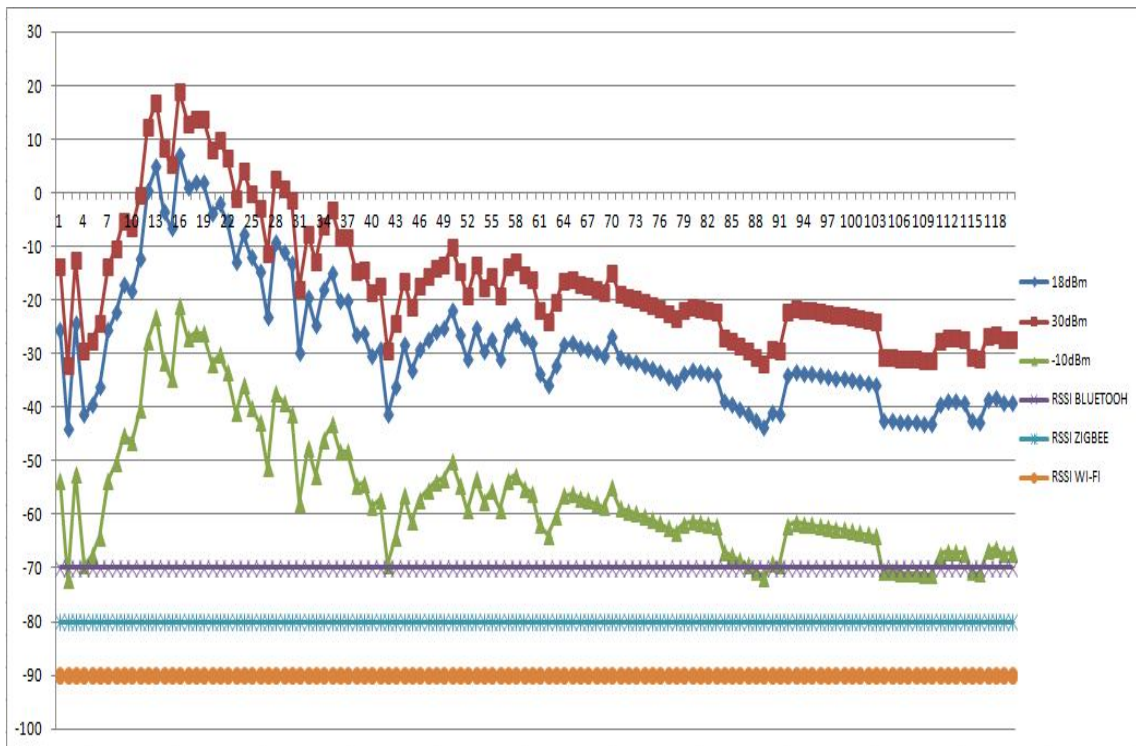


Figura108. Radial de Y=4m para la altura de 2 metros.

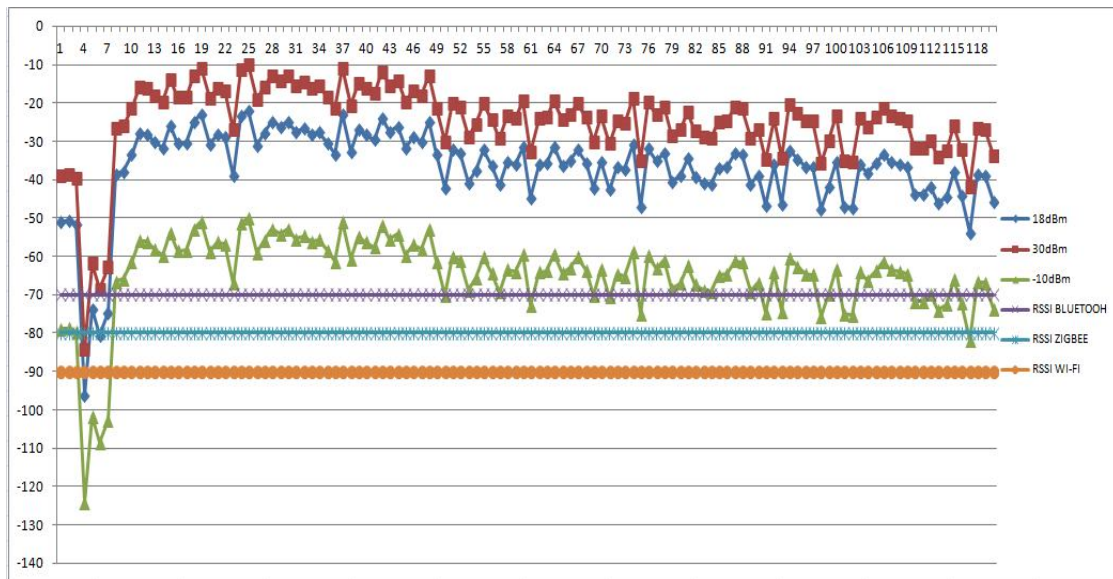


Figura109. Radial de Y=29m para la altura de 2 metros.

4.3.3.2 Antena situada en el tejado (z=15.9m).

Repetimos la Diferenciación entre dos posiciones de la antena para la misma altura.

4.3.3.2.1 Posición de la antena en 3.8, 22.2, 15.9 (ejes x, y, z en m).

- Para la frecuencia de 2.4 Ghz (Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth).

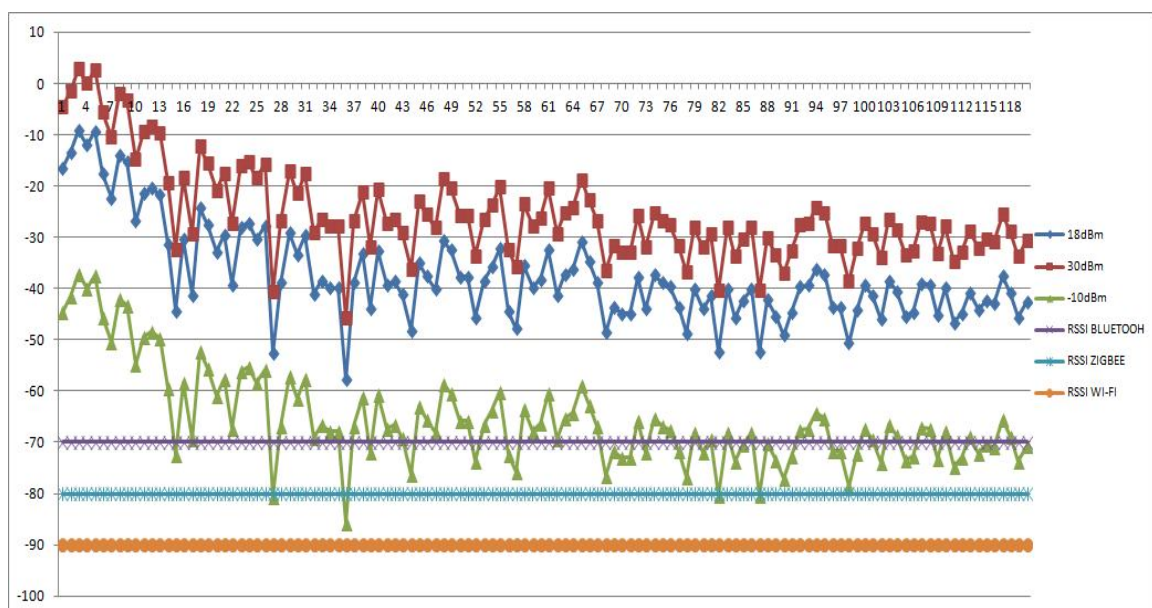


Figura110. Radial de Y=22m para la altura de 16 metros.

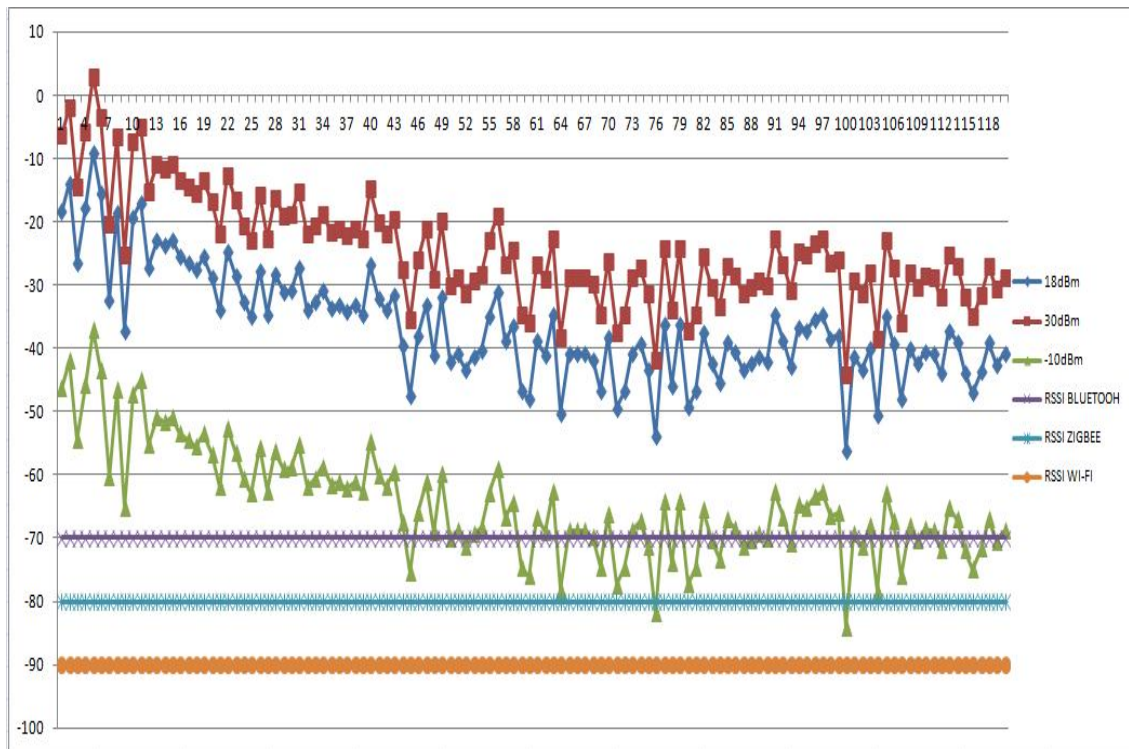


Figura111. Radial de Y=29m para la altura de 16 metros.

- **Para la frecuencia de 868Mhz (ZigBee).**

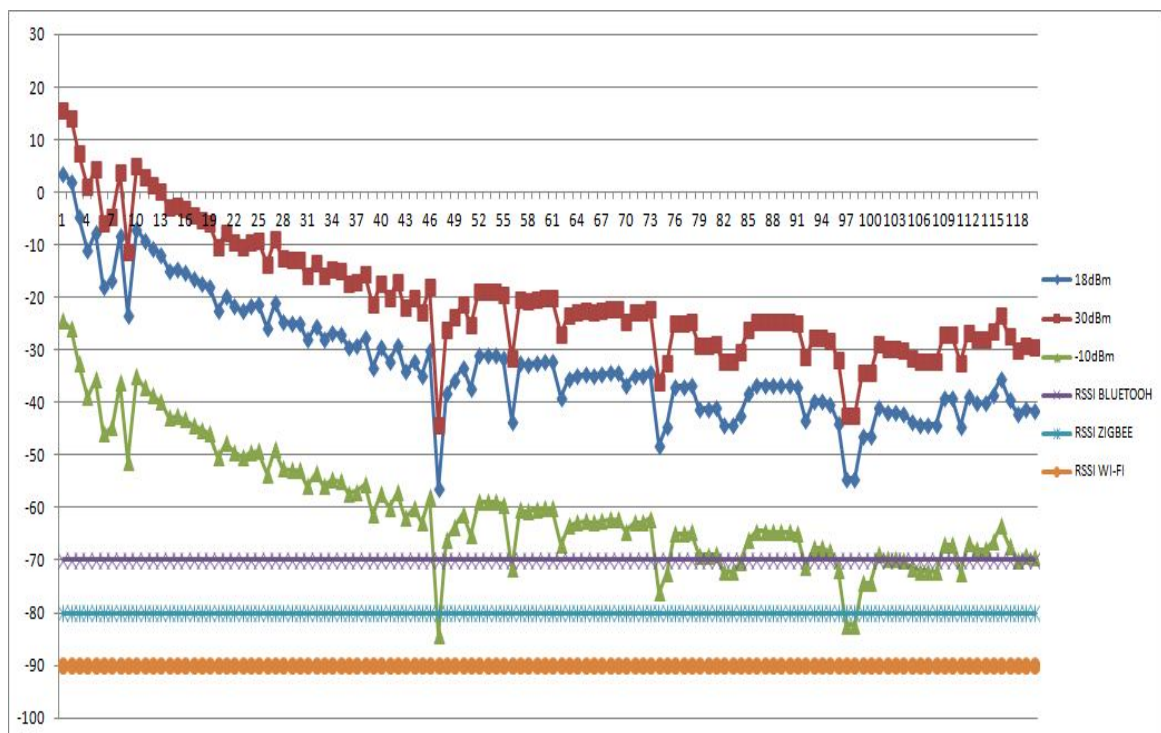


Figura112. Radial de Y=22m para la altura de 16 metros.

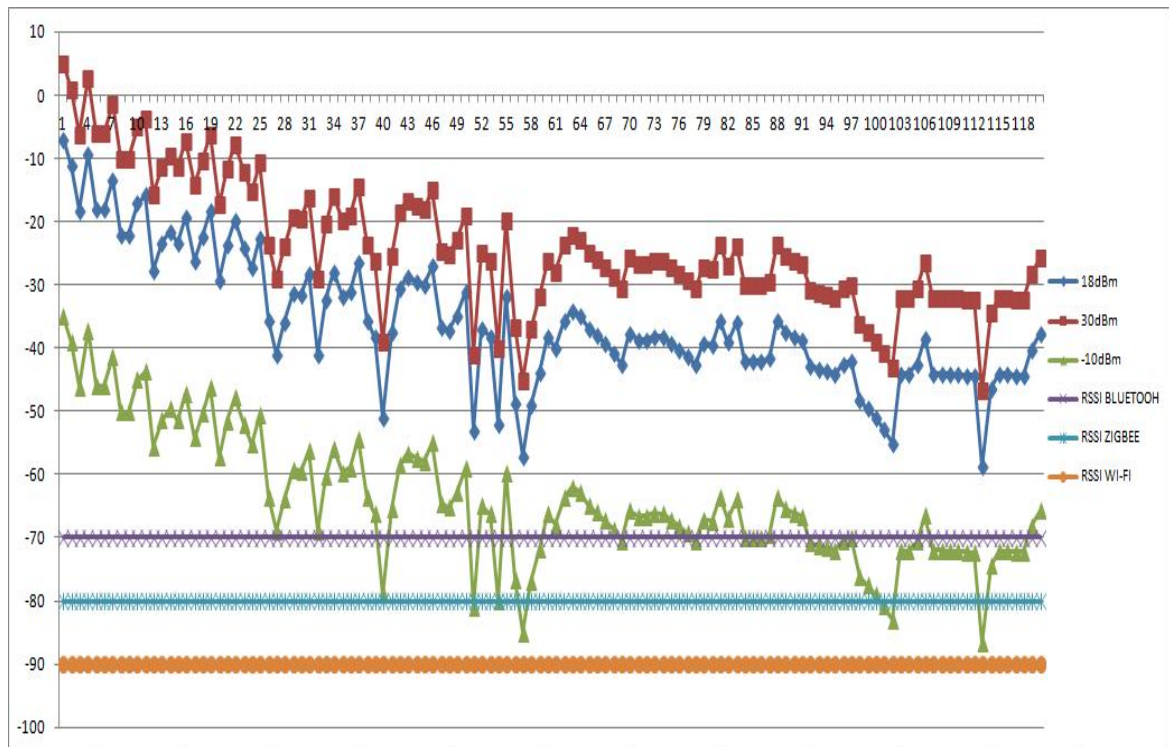


Figura13. Radial de Y=29m para la altura de 16 metros.

- **Para la frecuencia de 915Mhz (ZigBee).**

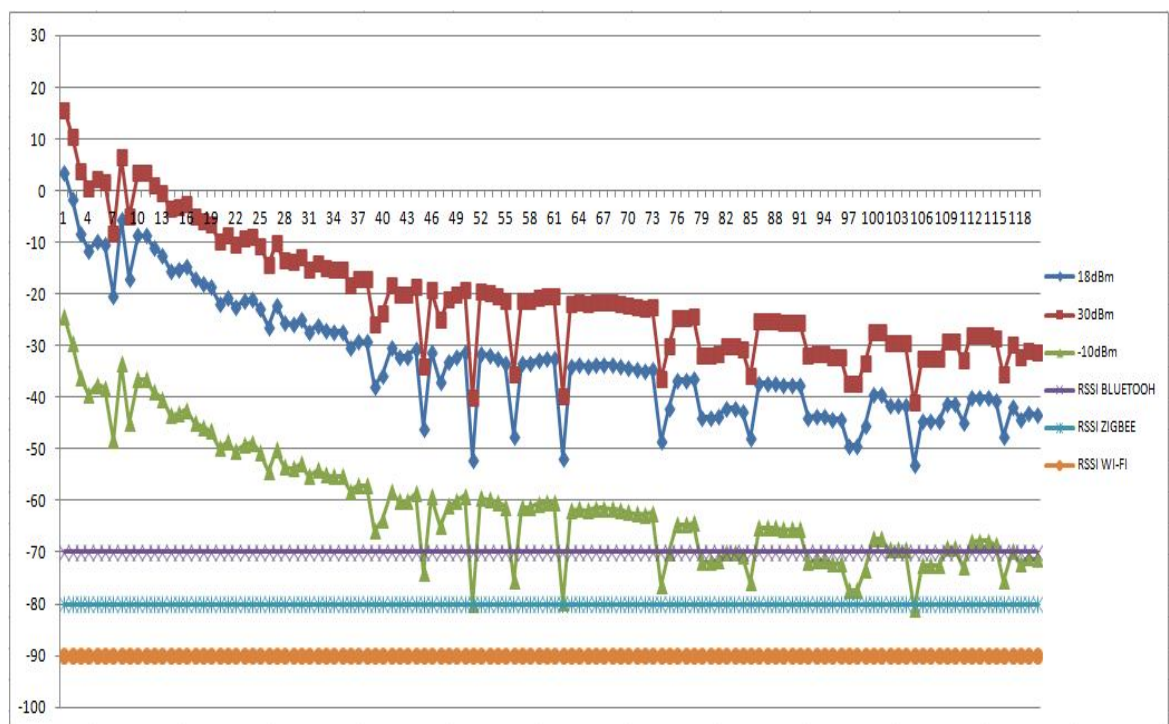


Figura14. Radial de Y=22m para la altura de 16 metros.

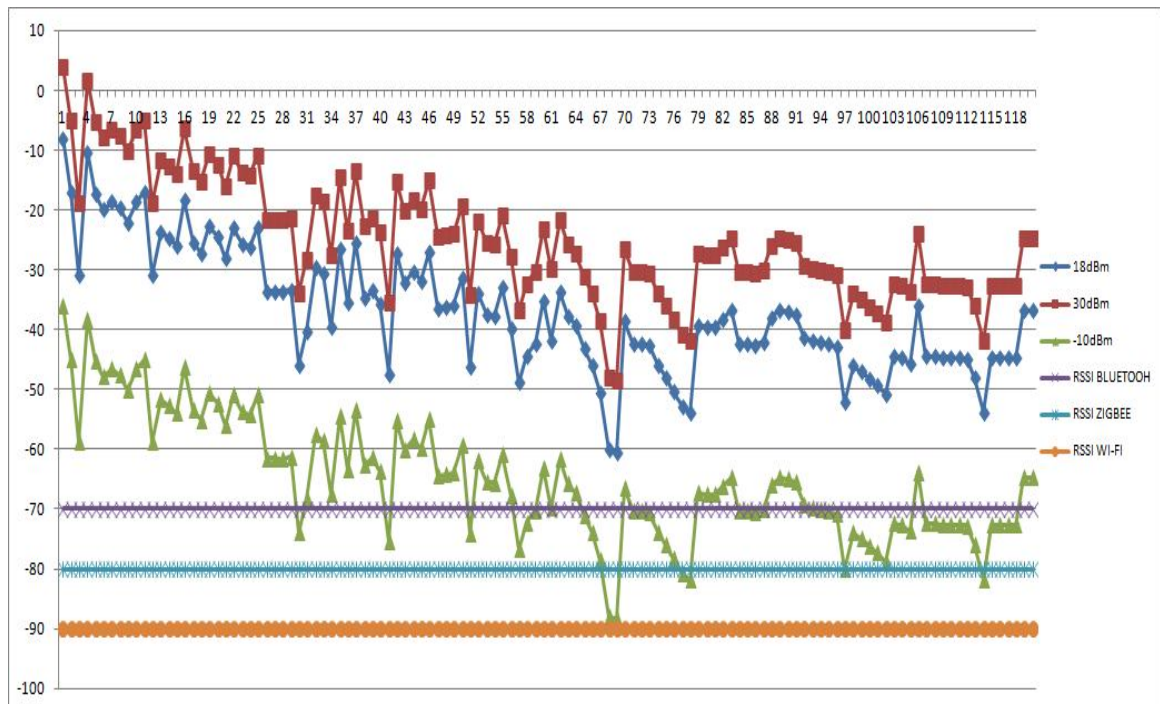


Figura115. Radial de Y=29m para la altura de 16 metros.

4.3.3.2.2 Posición de la antena en 13.8, 3.8, 15.9 (ejes x, y, z en m).

- Para la frecuencia de 2.4 Ghz (Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth).

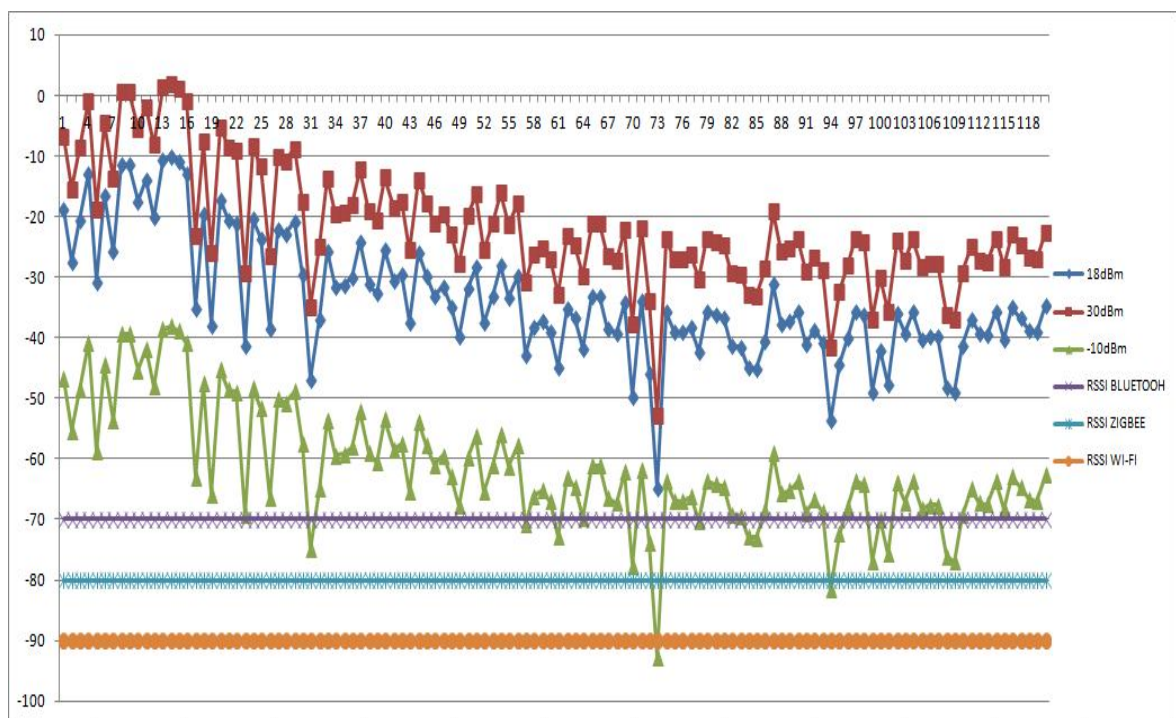


Figura116. Radial de Y=4m para la altura de 16 metros.

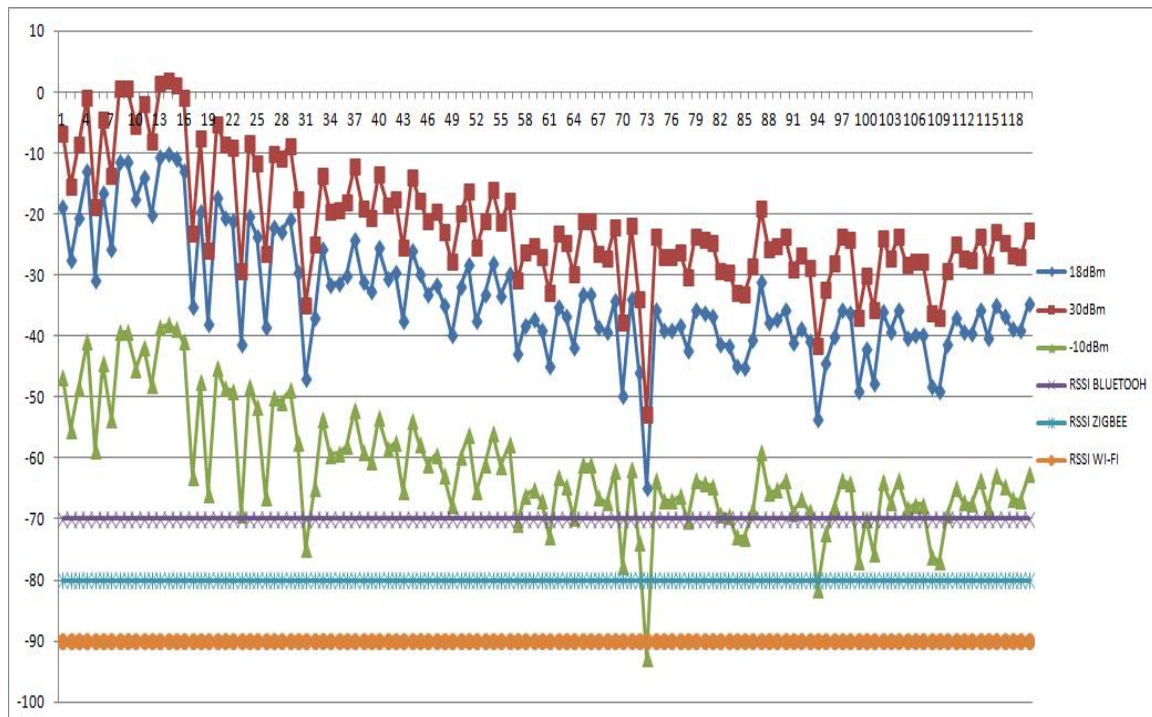


Figura17. Radial de Y=29m para la altura de 16 metros.

- **Para la frecuencia de 868Mhz (ZigBee).**

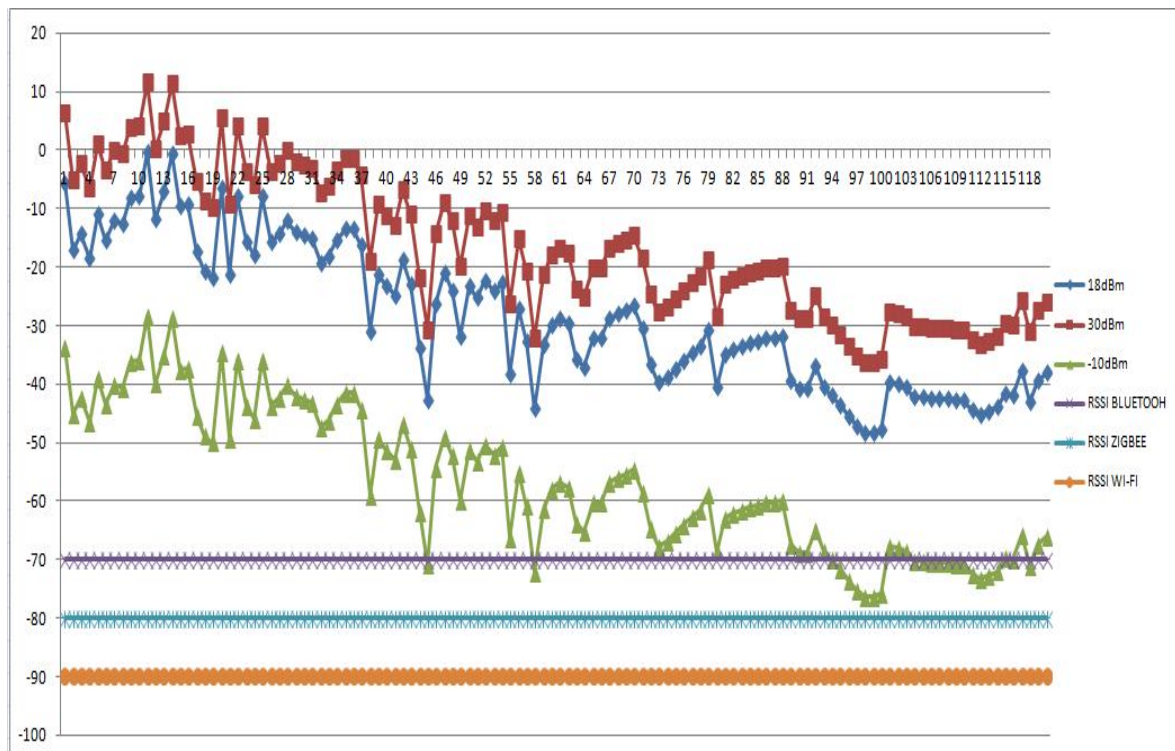


Figura18. Radial de Y=4m para la altura de 16 metros.

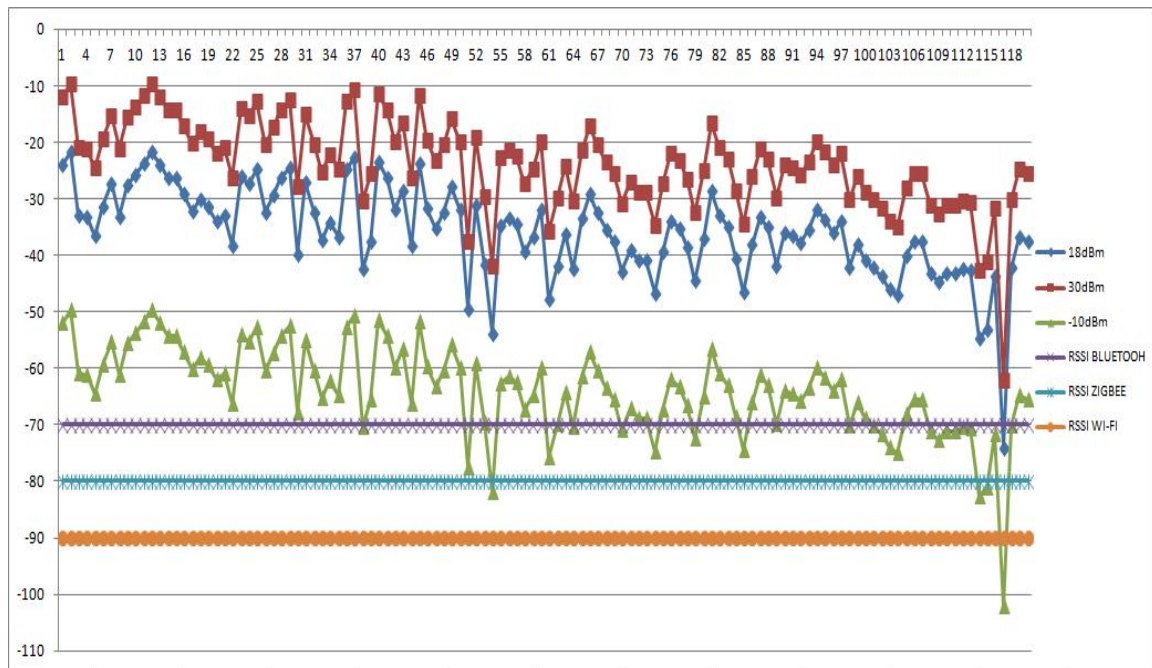


Figura119. Radial de Y=29m para la altura de 16 metros.

- **Para la frecuencia de 915Mhz (ZigBee).**

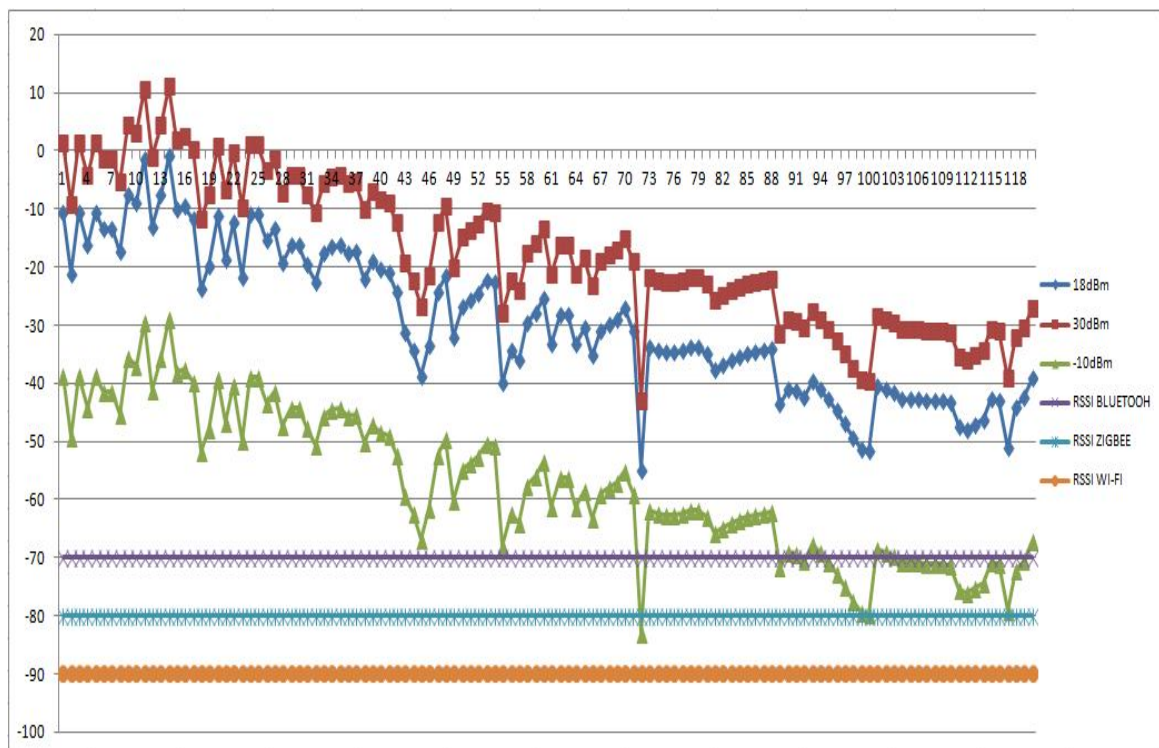


Figura120. Radial de Y=4m para la altura de 16 metros.

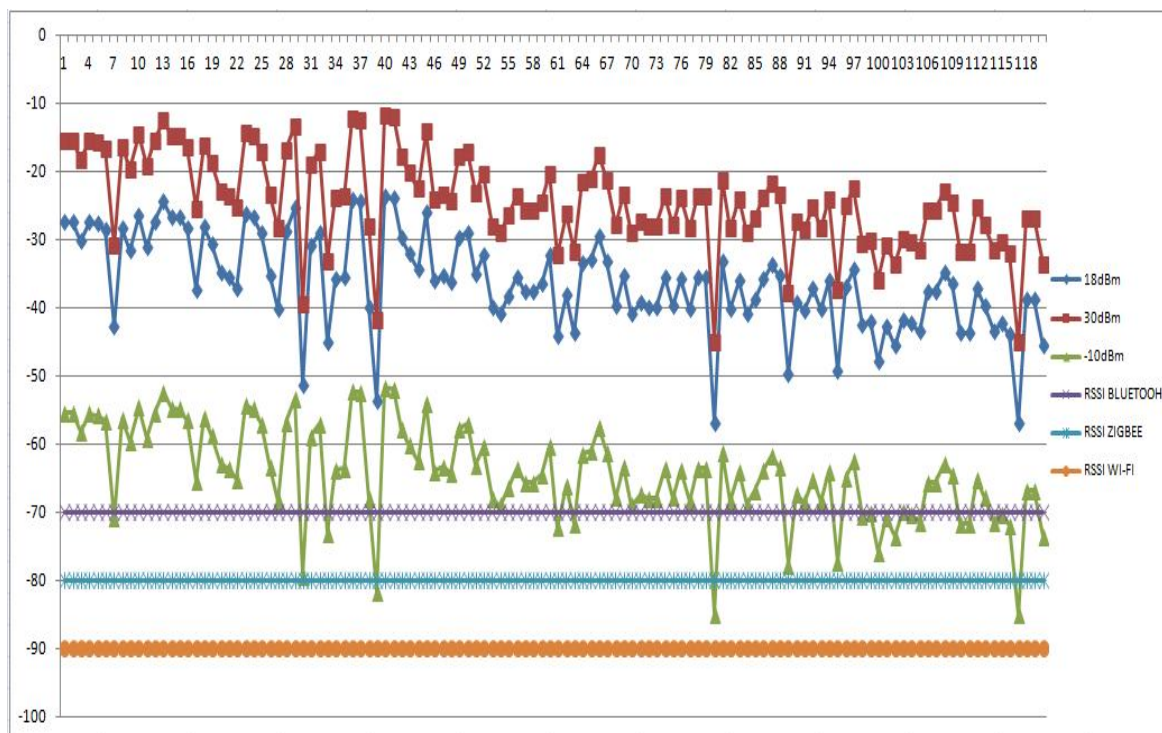


Figura121. Radial de Y=29m para la altura de 16 metros.

4.3.4 DelaySpread.

Diferencia entre el tiempo de llegada de la última componente de multitrayecto y la primera componente de trayectoria múltiple, que nos muestra cómo la interacción de los rayos con las diferentes características del entorno, producen variaciones en el mapa de retardo potencia, según los distintos puntos de recepción.

4.3.4.1 Antena situada en el suelo ($z=1.6\text{m}$).

Diferenciaremos entre dos posiciones de la antena variando las alturas.

4.3.4.1.1 Posición de la antena en 3.8, 22.2, 1.6 (ejes x, y, z en m).

- Frecuencia de 2.4 Ghz (Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth).

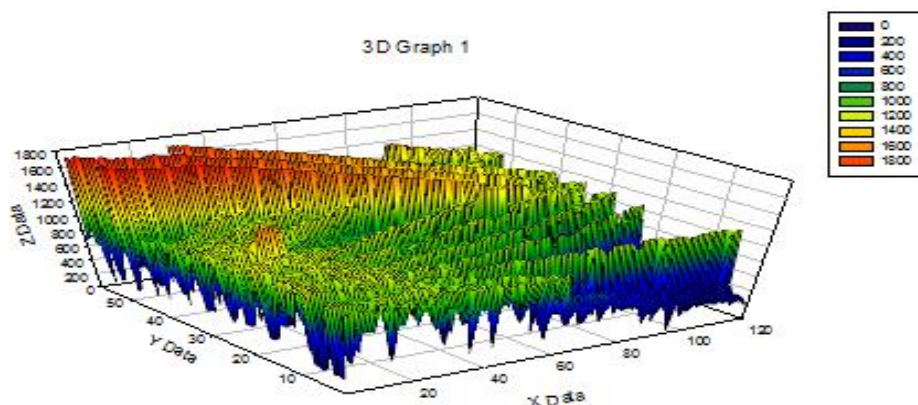


Figura122. DelaySpread a la altura de 2m.

- Frecuencia de 868 Mhz (ZigBee).

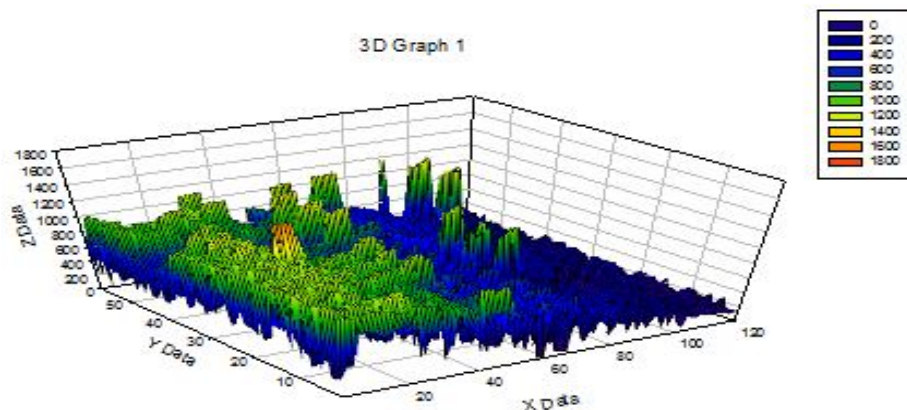


Figura123. DelaySpread a la altura de 3m.

- Frecuencia de 915 Mhz (ZigBee).

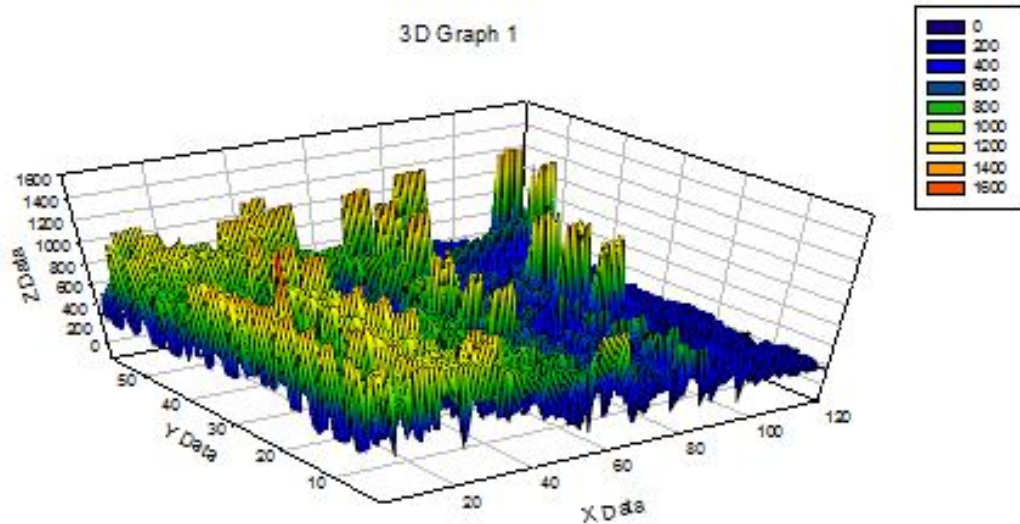


Figura124. DelaySpread a la altura de 1m.

4.3.4.1.2 Posición de la antena en 13.8, 3.8, 1.6 (ejes x, y, z en m).

- Frecuencia de 2.4 Ghz (Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth).

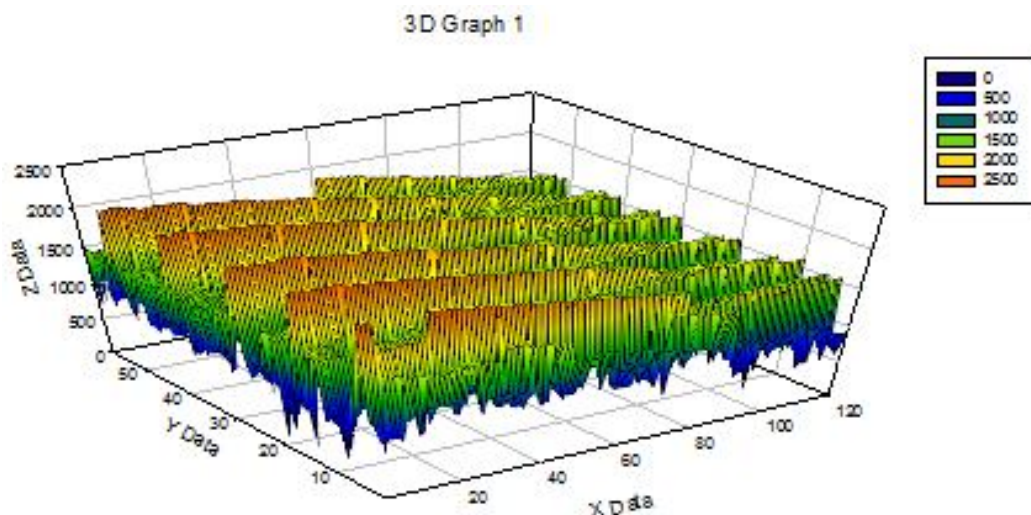


Figura125. DelaySpread a la altura de 2m.

- **Frecuencia de 868 Mhz (ZigBee).**

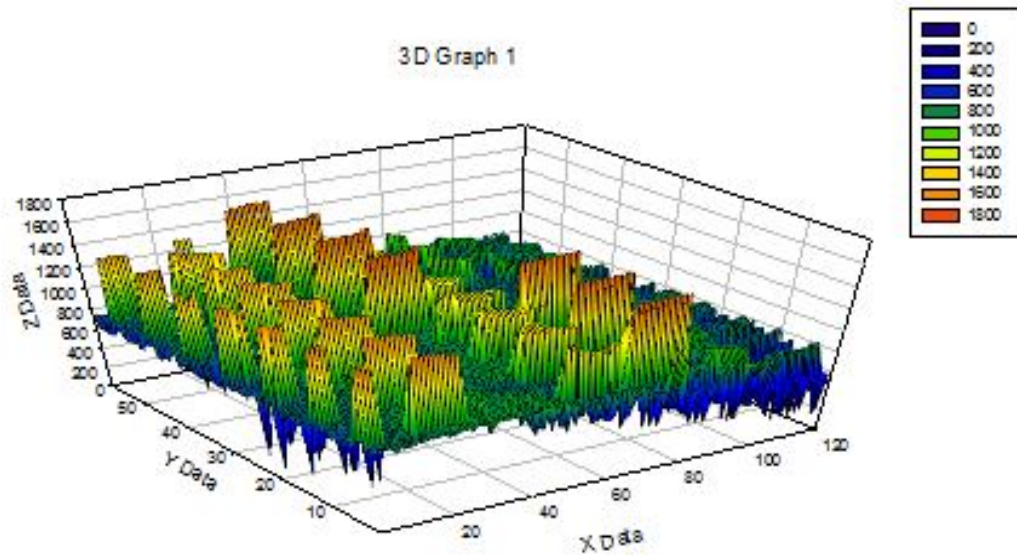


Figura126. DelaySpread a la altura de 3m.

- **Frecuencia de 915 Mhz (ZigBee).**

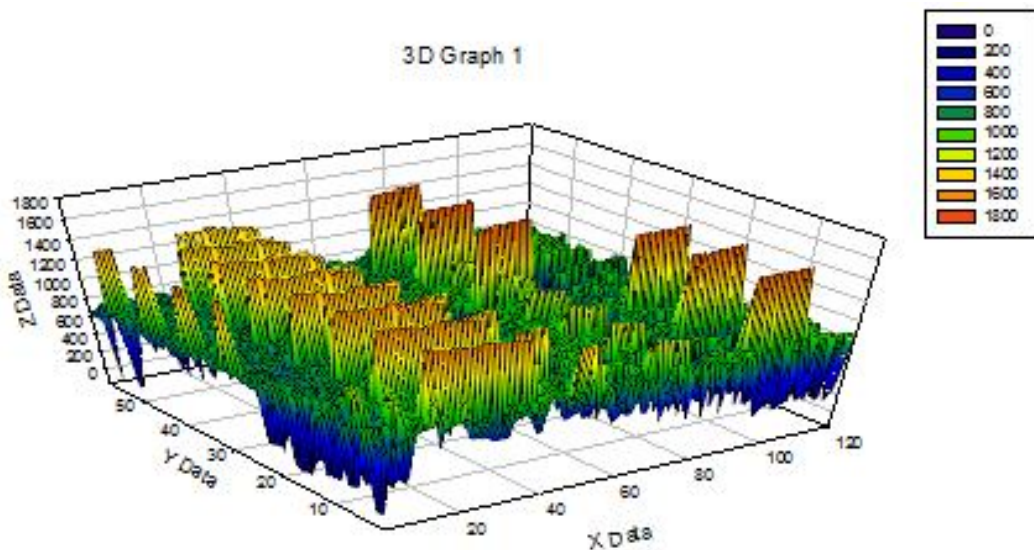


Figura127. DelaySpread a la altura de 1m.

4.3.4.2 Antena situada en el tejado (z=15.9m).

Diferenciaremos una vez más entre dos posiciones de la antena para diferentes alturas.

4.3.4.2.1 Posición de la antena en 3.8, 22.2, 15.9 (ejes x, y, z en m).

- Frecuencia de 2.4 Ghz (Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth).

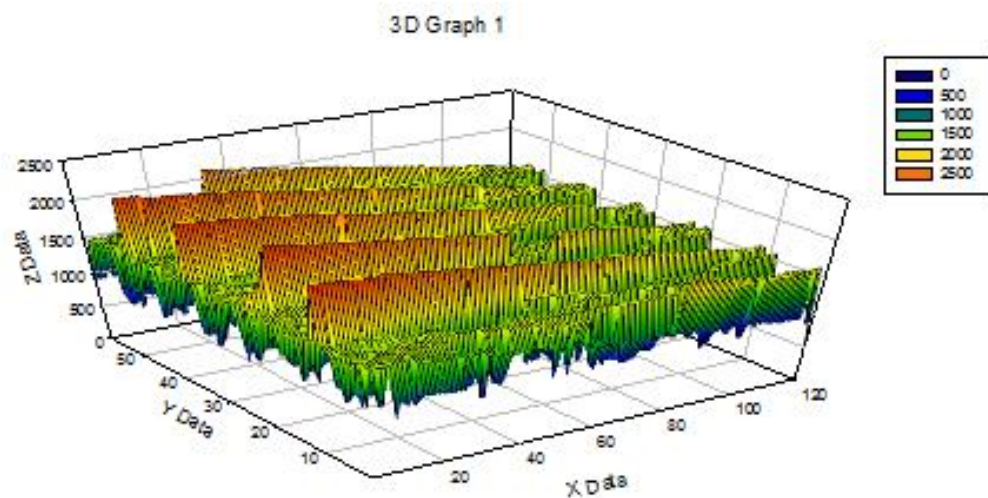


Figura128. DelaySpread a la altura de 16m.

- Frecuencia de 868 Mhz (ZigBee).

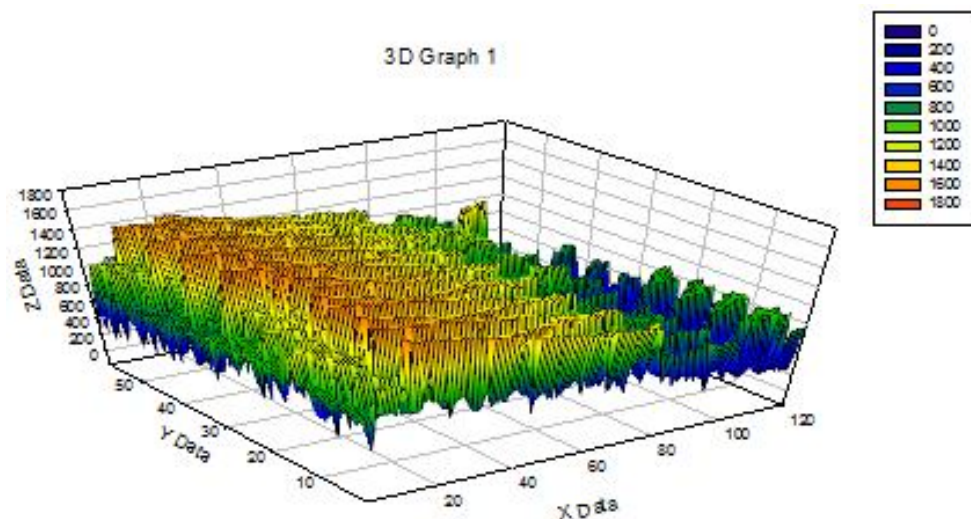


Figura129. DelaySpread a la altura de 17m.

- Frecuencia de 915 Mhz (ZigBee).

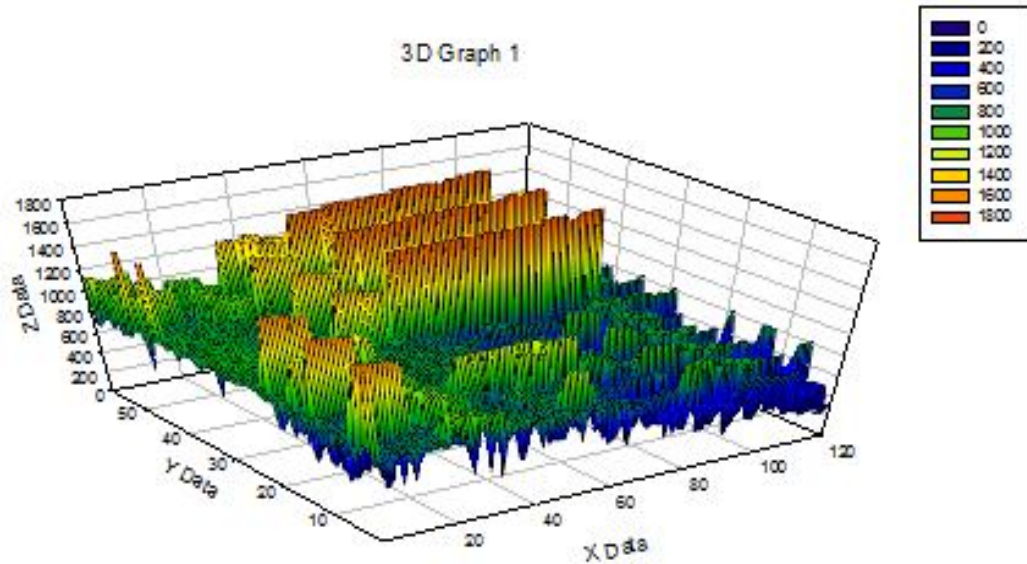


Figura130. DelaySpread a la altura de 15m.

4.3.4.2.2 Posición de la antena en 13.8, 3.8, 15.9 (ejes x, y, z en m).

- Frecuencia de 2.4 Ghz (Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth).

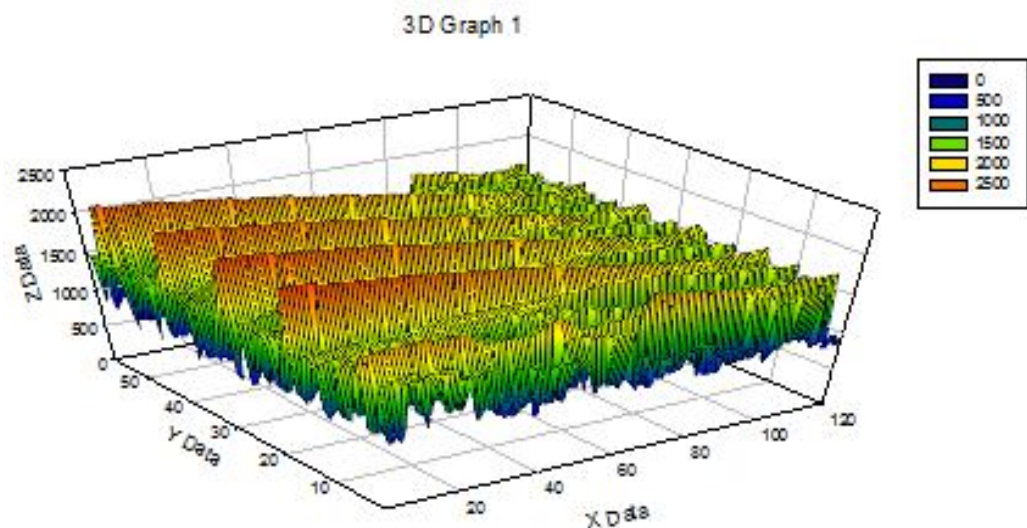


Figura131. DelaySpread a la altura de 16m.

- **Frecuencia de 868 Mhz (ZigBee).**

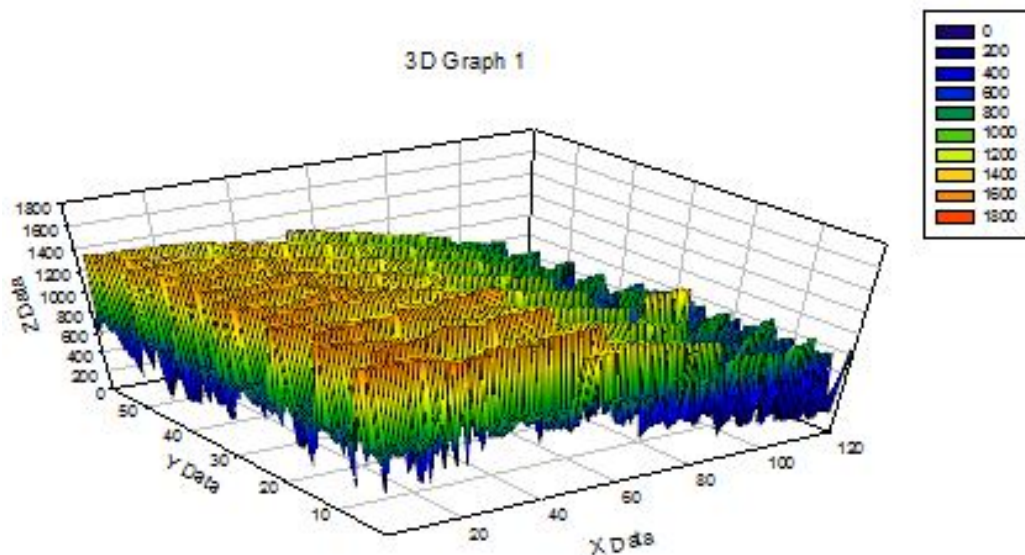


Figura132. DelaySpread a la altura de 17m.

- **Frecuencia de 915 Mhz (ZigBee).**

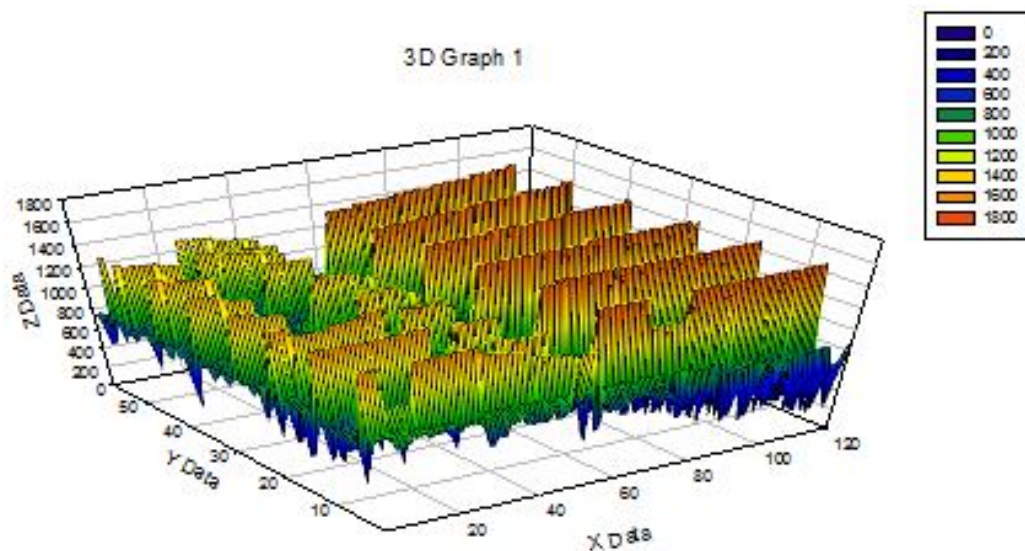


Figura133. DelaySpread a la altura de 15m



4.3.5 PDPs.

Los niveles de retardo potencia, nos indican cómo afectan los rayos a la antena receptora en función del tiempo, según los rayos directos o según aquellos que provienen de una reflexión frente a los diferentes obstáculos como pueden ser las paredes y demás componentes del escenario.

Con este estudio es posible observar que cuanto mayor sea la frecuencia mayor nivel de atenuación vamos a tener y por lo tanto menos potencia recibida.

Para analizar este comportamiento hemos elegido tomar los datos de las filas 36 y 42, columnas 3 y 23 y altura 3 respectivamente, por ser posiciones en el escenario en los que nos interesarían estudiar la posibilidad de situar nuestra antena en el caso de que los contadores no se incorporaran dentro del propio edificio sino fuera de él.

Nota:

No se ha considera la altura 16 porque no tendría ningún sentido colocar antenas a esa altura estando en el exterior.

Dichas nuevas posiciones se muestran en la siguiente figura, donde las posiciones de la antena consideradas a lo largo del proyecto están pintadas de rojo mientras las consideradas sólo para el estudio del PDPs están sin pintar.

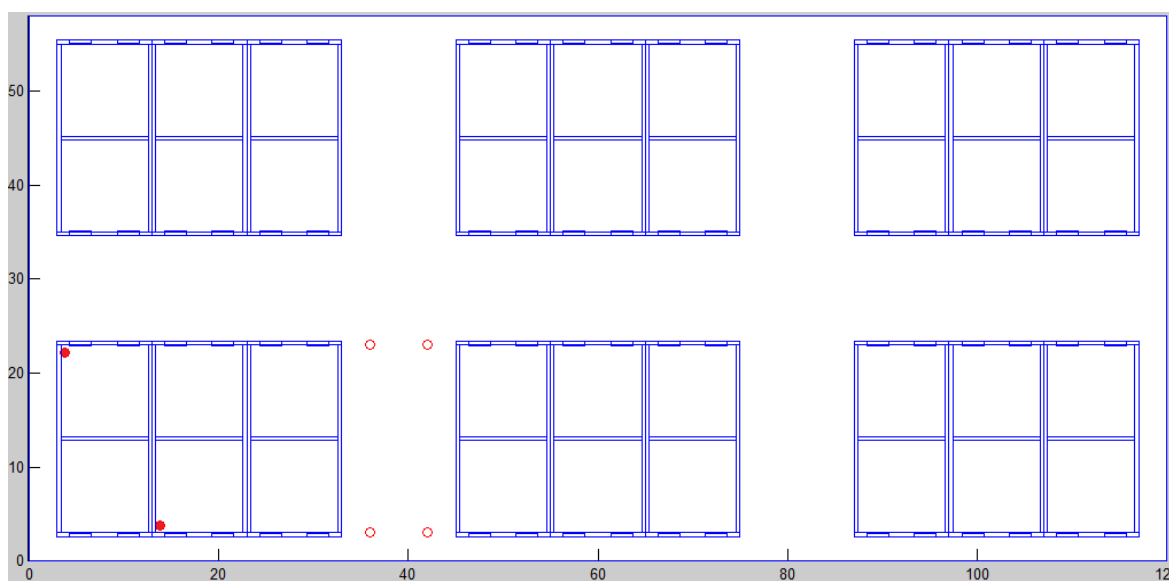
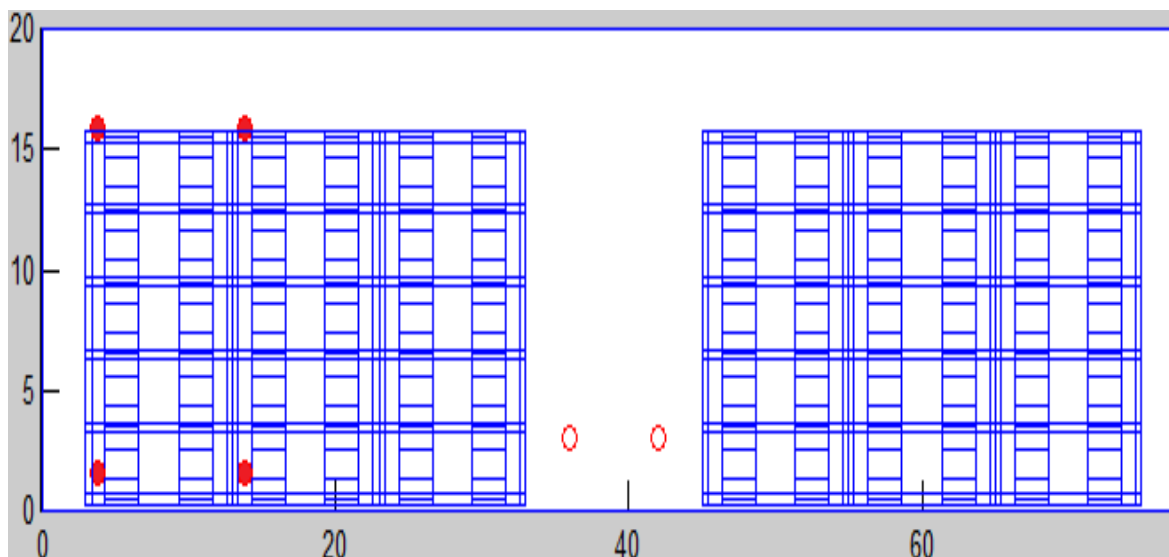


Figura134. Diferentes planos de la posición de las antenas en las posiciones tenidas en cuenta para la simulación y las nuevas para el estudio de PDPs.

4.3.5.1 Antena situada en el suelo ($z=1.6\text{m}$).

Diferenciaremos entre dos posiciones de la antena para la misma altura.

4.3.5.1.1 Posición de la antena en 3.8, 22.2, 1.6 (ejes x, y, z en m).

- Frecuencia de 2.4 Ghz (Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth).

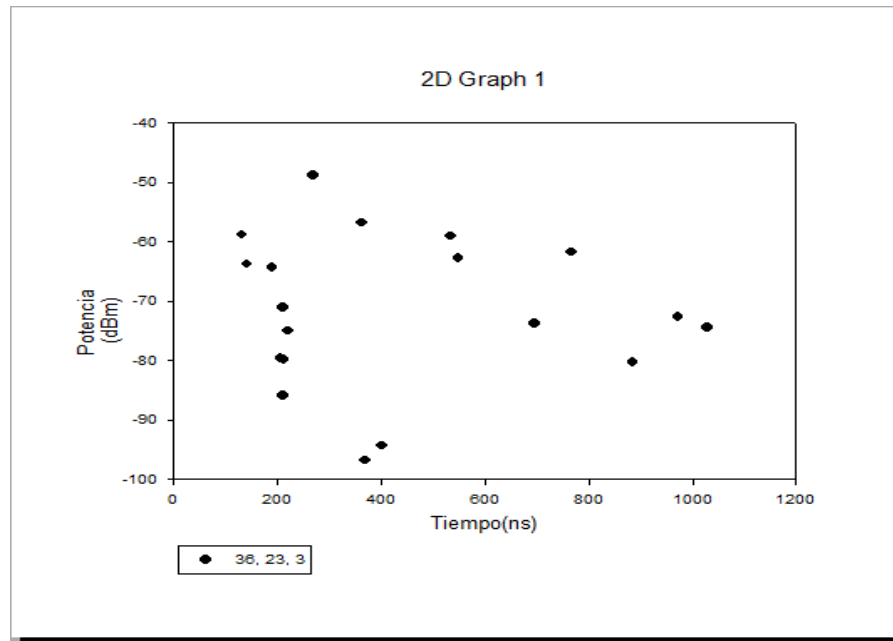


Figura135. PDPs tomados de la fila 36, la columna 23 y a una altura de 3m.

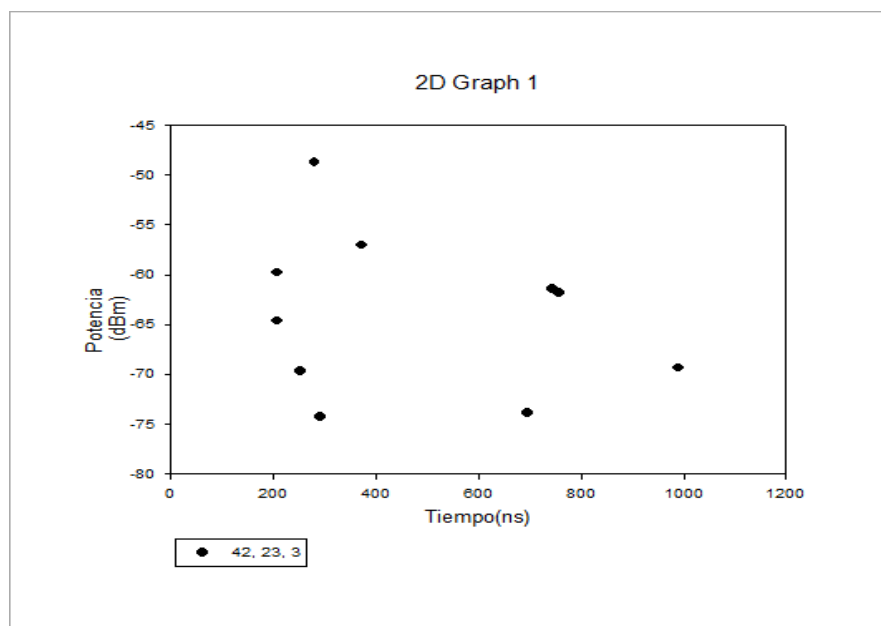


Figura136. PDPs tomados de la fila 42, la columna 23 y a una altura de 3m.

- **Frecuencia de 868 Mhz (ZigBee).**

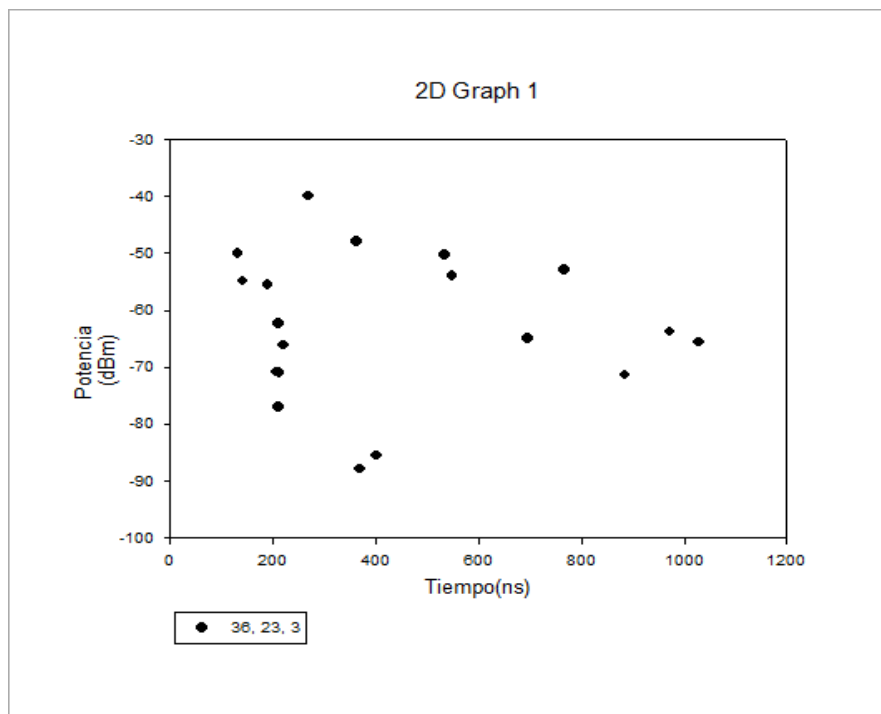


Figura137. PDPs tomados de la fila 36, la columna 23 y a una altura de 3m.

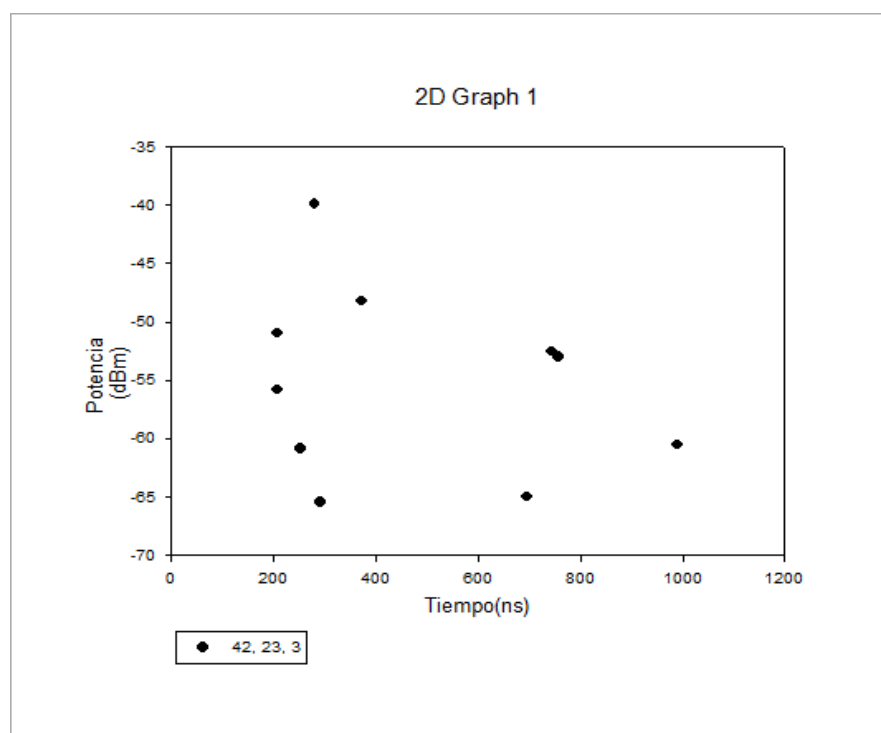


Figura138. PDPs tomados de la fila 42, la columna 23 y a una altura de 3m.

- **Frecuencia de 915 Mhz (ZigBee).**

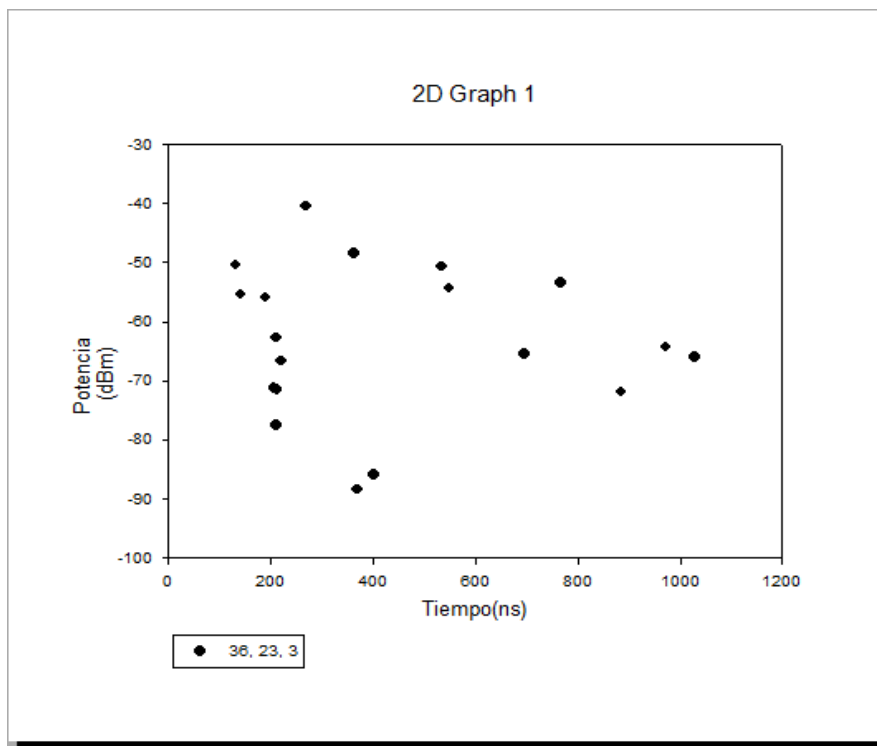


Figura139. PDPs tomados de la fila 36, la columna 23 y a una altura de 3m.

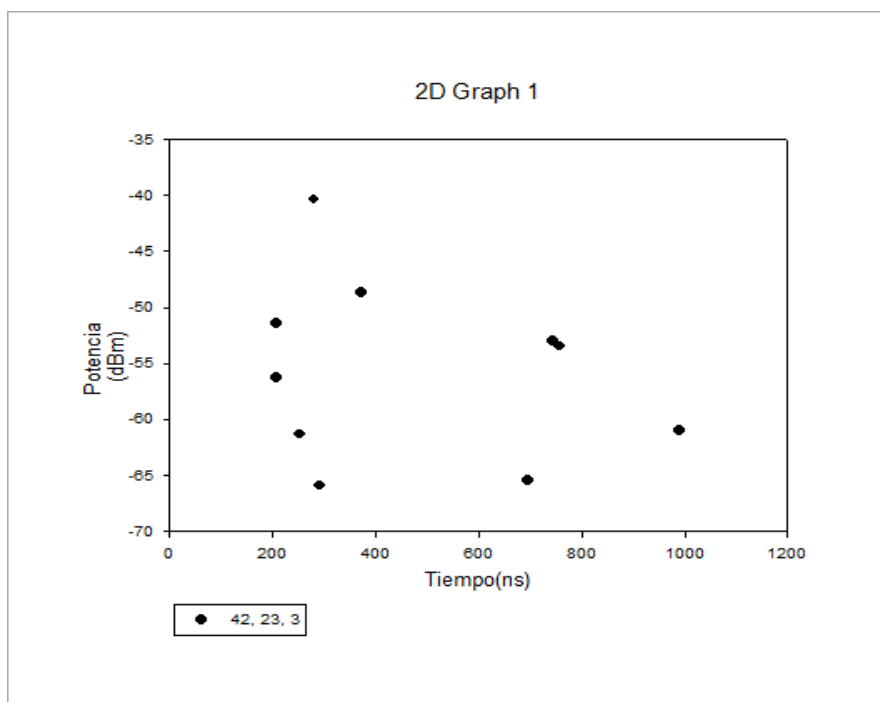


Figura140. PDPs tomados de la fila 42, la columna 23 y a una altura de 3m.

4.3.5.1.2 Posición de la antena en 13.8, 3.8, 1.6 (ejes x, y, z en m).

- Frecuencia de 2.4 Ghz (Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth).

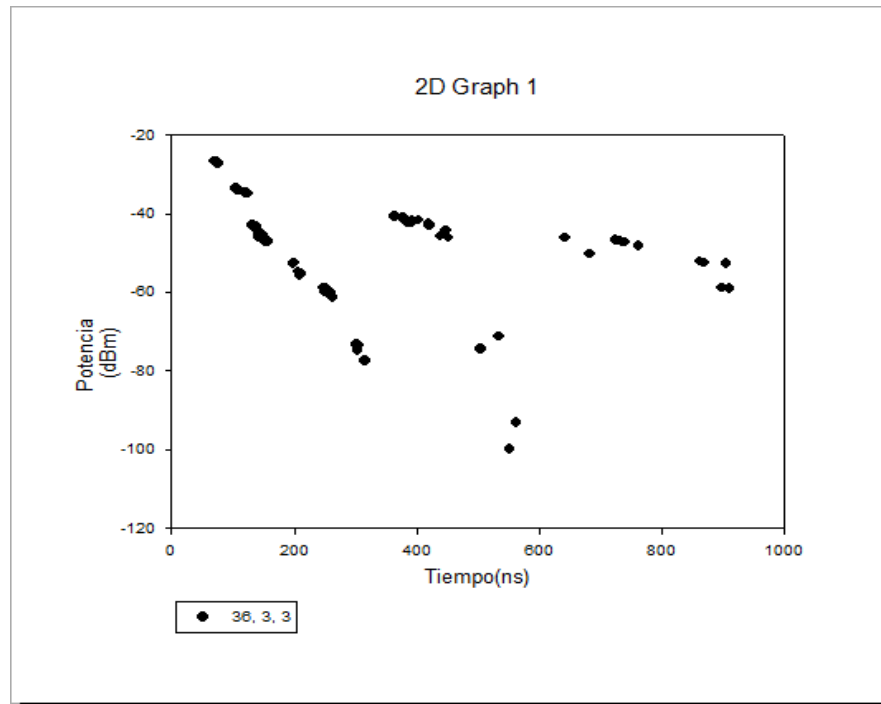


Figura141. PDPs tomados de la fila 36, la columna 3 y a una altura de 3m.

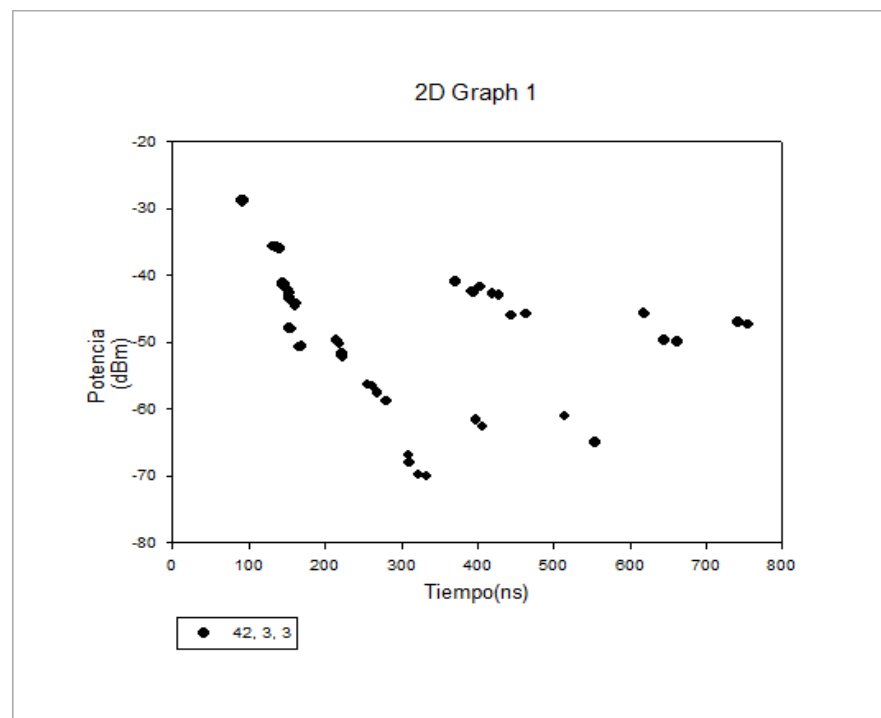


Figura142. PDPs tomados de la fila 42, la columna 3 y a una altura de 3m.

- **Frecuencia de 868 Mhz (ZigBee).**

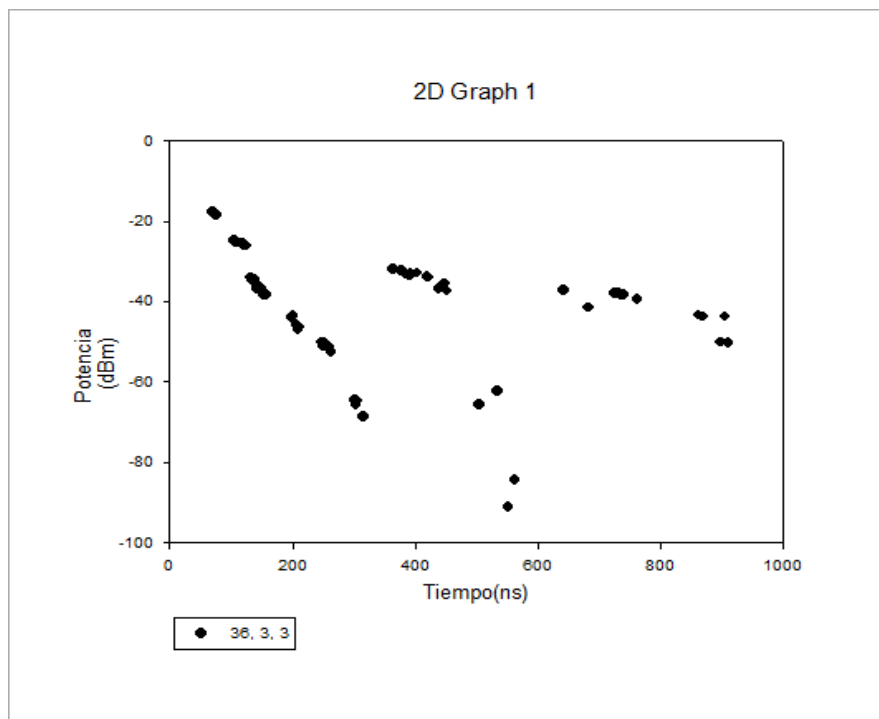


Figura143. PDPs tomados de la fila 36, la columna 3 y a una altura de 3m.

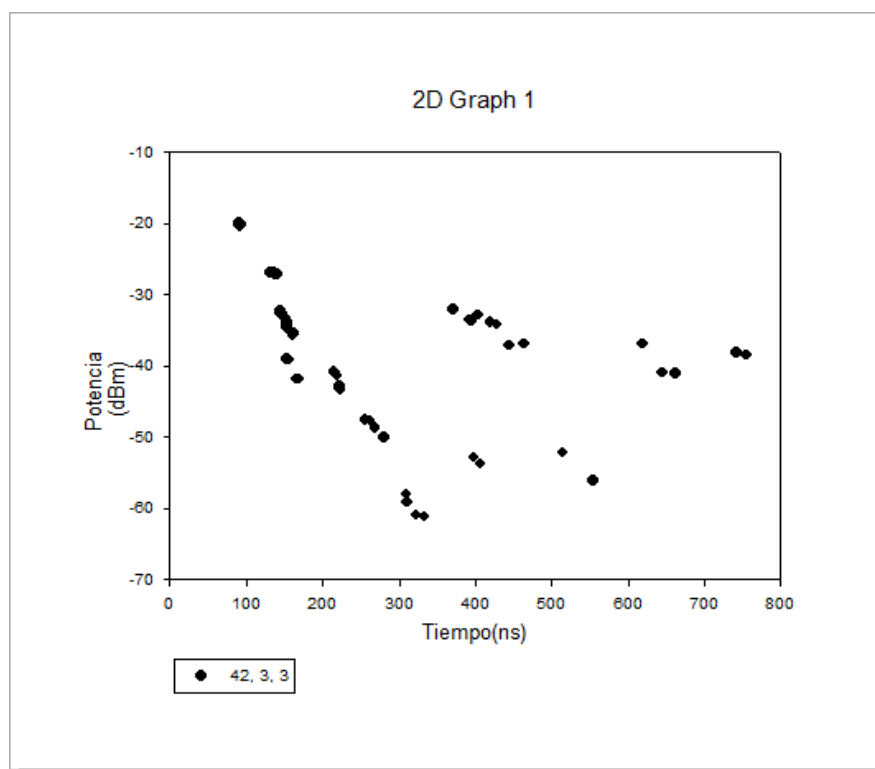


Figura144. PDPs tomados de la fila 42, la columna 3 y a una altura de 3m.

- **Frecuencia de 915 Mhz (ZigBee).**

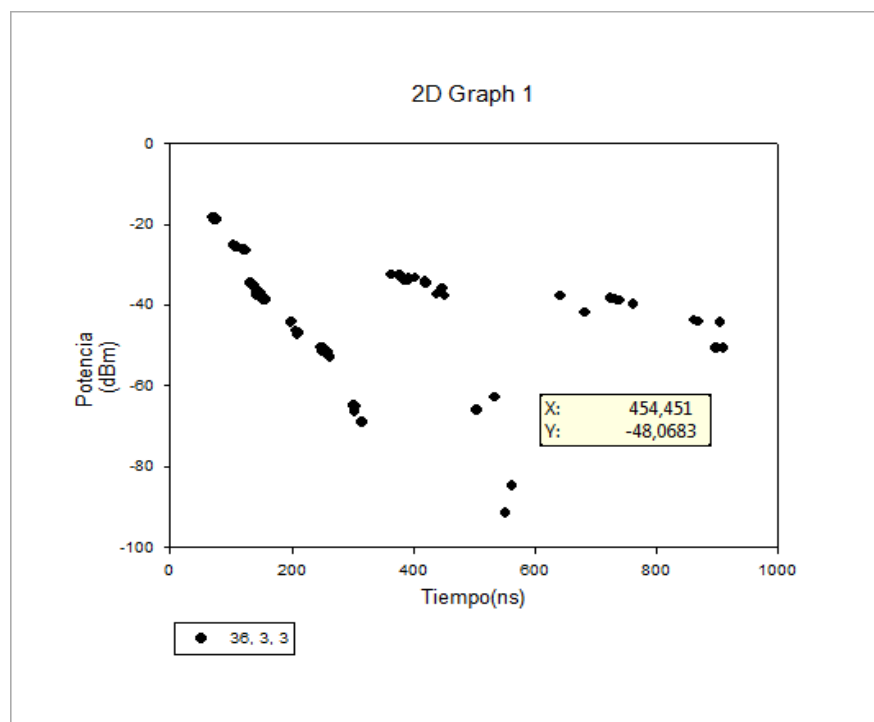


Figura145. PDPs tomados de la fila 36, la columna 3 y a una altura de 3m.

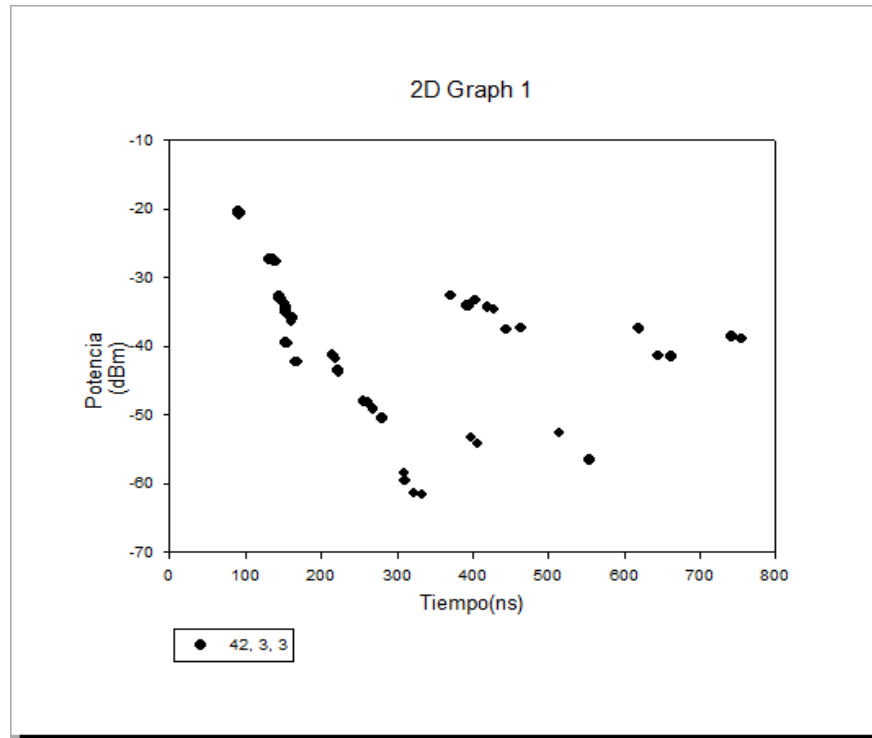


Figura146. PDPs tomados de la fila 42, la columna 3 y a una altura de 3m.

4.3.5.2 Antena situada en el tejado ($z=15.9\text{m}$).

Otra vez diferenciaremos entre dos posiciones de la antena para la misma altura.

4.3.5.2.1 Posición de la antena 3.8, 22.2, 15.9 (ejes x, y, z en m).

- Frecuencia de 2.4 Ghz (Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth).

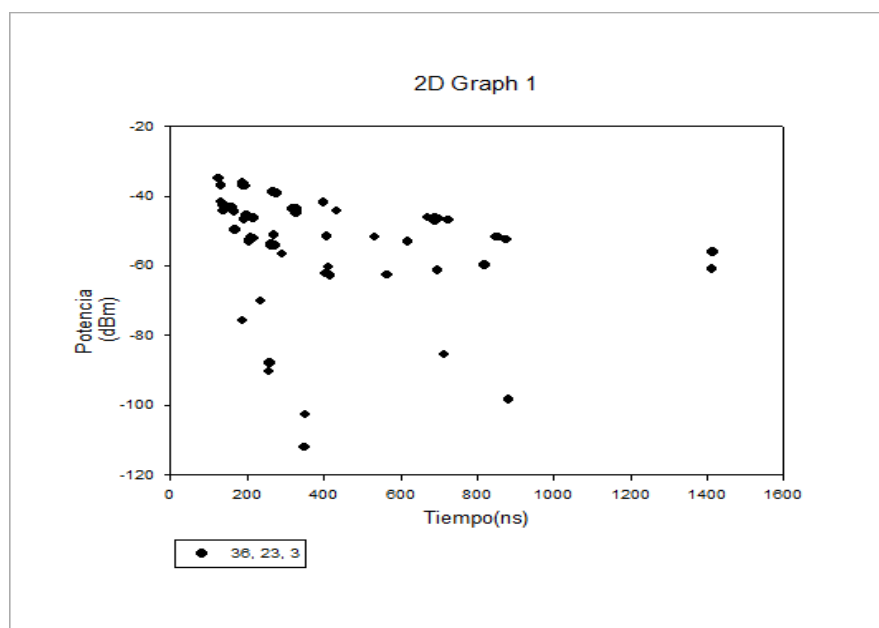


Figura147. PDPs tomados de la fila 36, la columna 23 y a una altura de 3m.

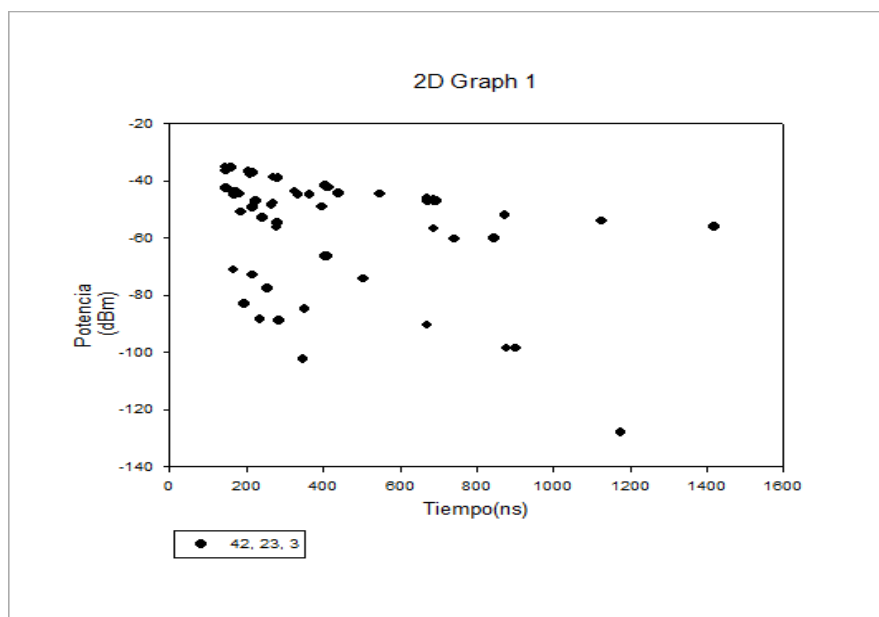


Figura148. PDPs tomados de la fila 42, la columna 23 y a una altura de 3m.

- **Frecuencia de 868 Mhz (ZigBee).**

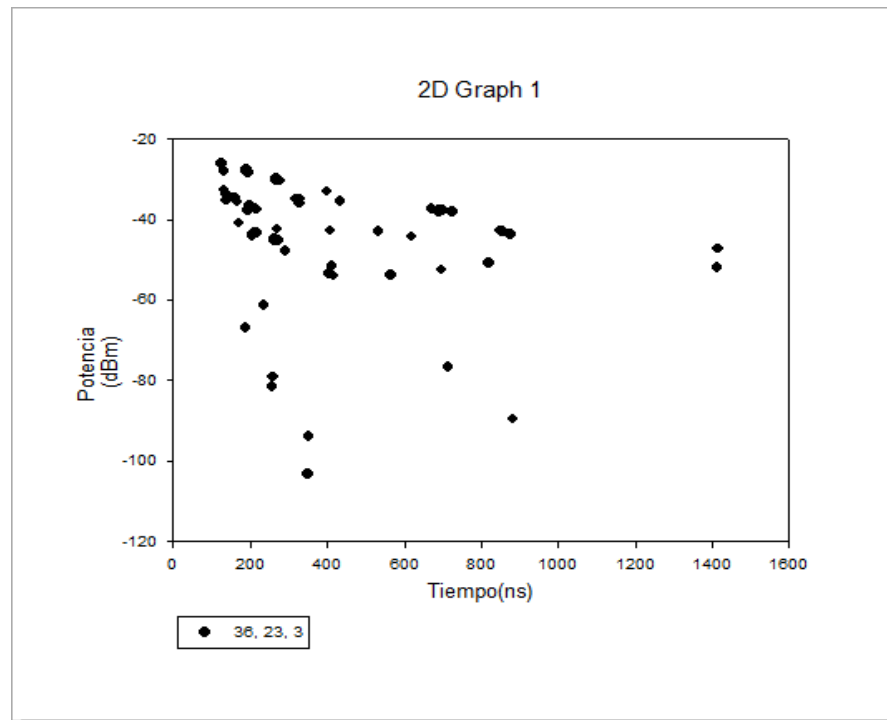


Figura149. PDPs tomados de la fila 36, la columna 23 y a una altura de 3m.

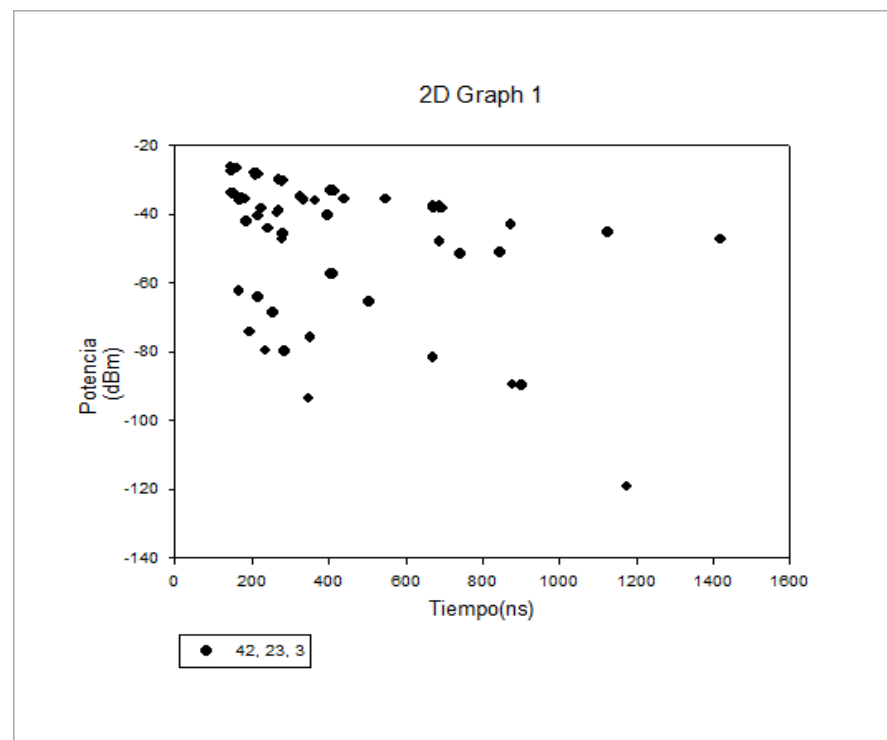


Figura150. PDPs tomados de la fila 42, la columna 23 y a una altura de 3m.

- **Frecuencia de 915 Mhz (ZigBee).**

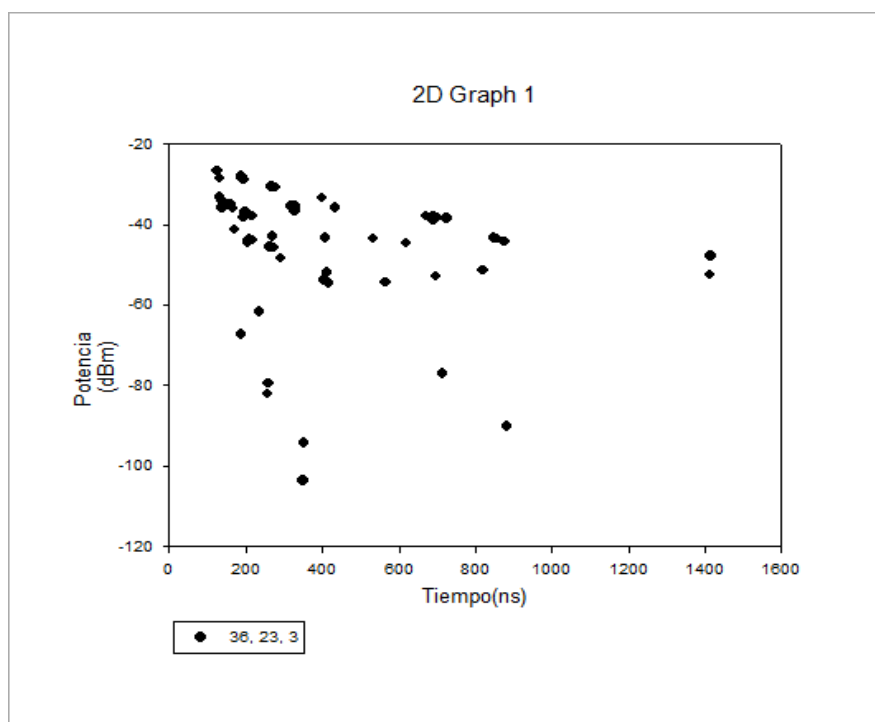


Figura151. PDPs tomados de la fila 36, la columna 23 y a una altura de 3m.

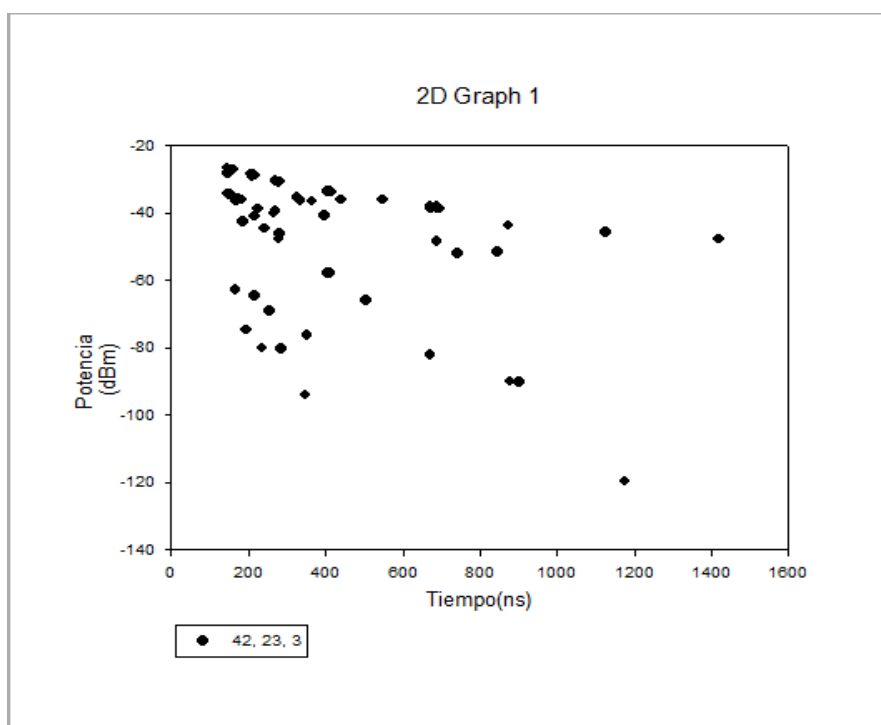


Figura152. PDPs tomados de la fila 42, la columna 23 y a una altura de 3m.

4.3.5.2.2 Posición de la antena en 13.8, 3.8, 15.9 (ejes x, y, z en m).

- **Frecuencia de 2.4 Ghz (Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth).**

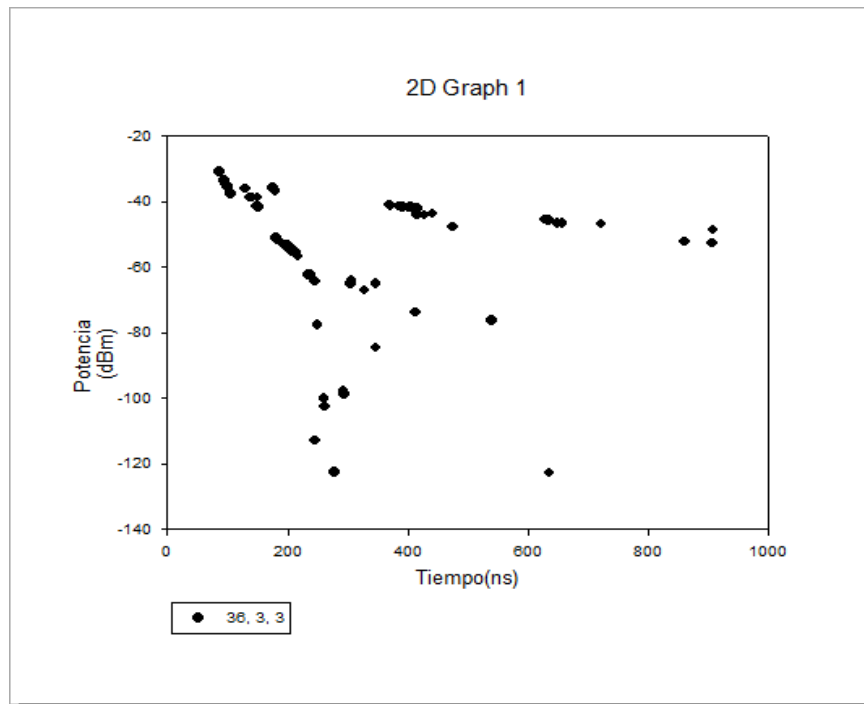


Figura153. PDPs tomados de la fila 36, la columna 3 y a una altura de 3m.

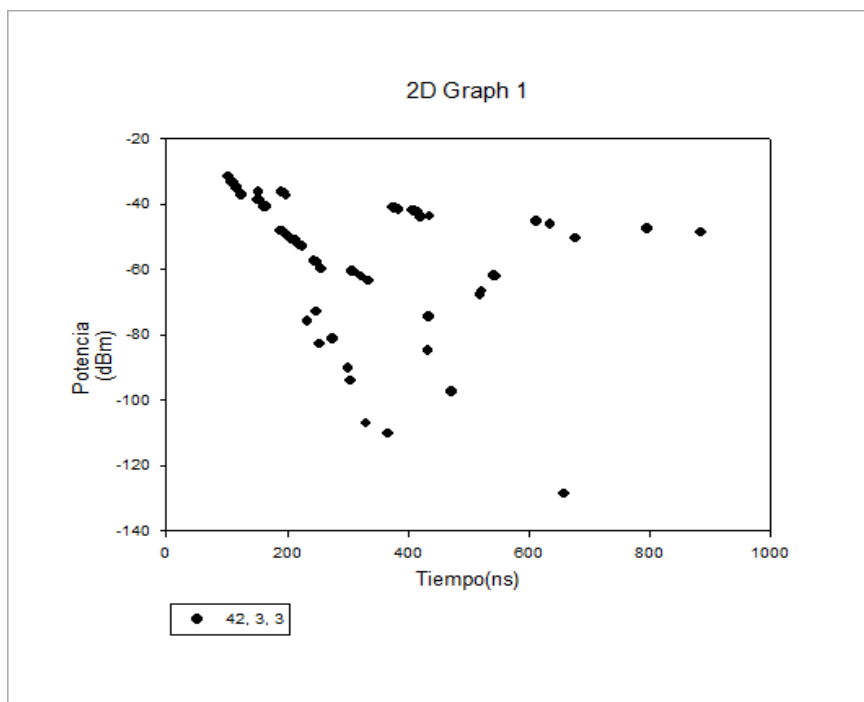


Figura154. PDPs tomados de la fila 42, la columna 3 y a una altura de 3m.

- **Frecuencia de 868 Mhz (ZigBee).**

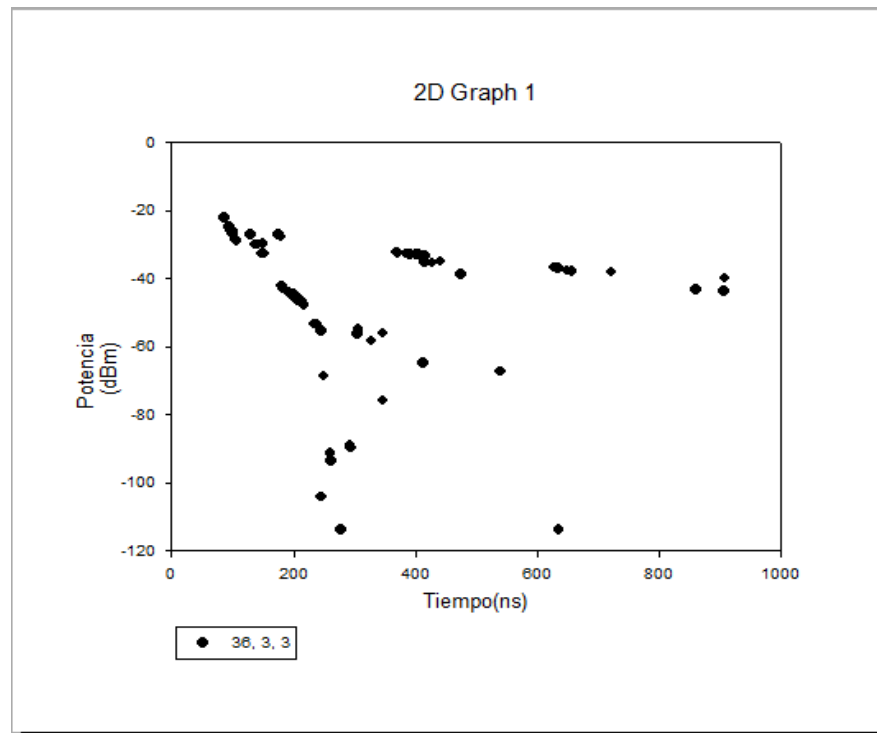


Figura155. PDPs tomados de la fila 36, la columna 3 y a una altura de 3m.

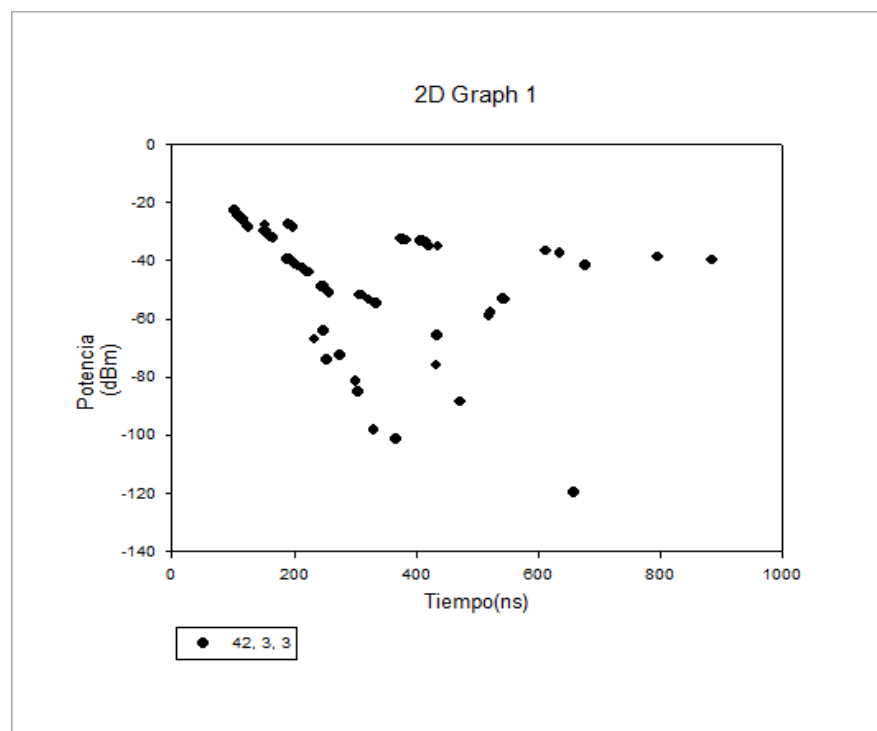


Figura156. PDPs tomados de la fila 42, la columna 3 y a una altura de 3m.

- **Frecuencia de 915 Mhz (ZigBee).**

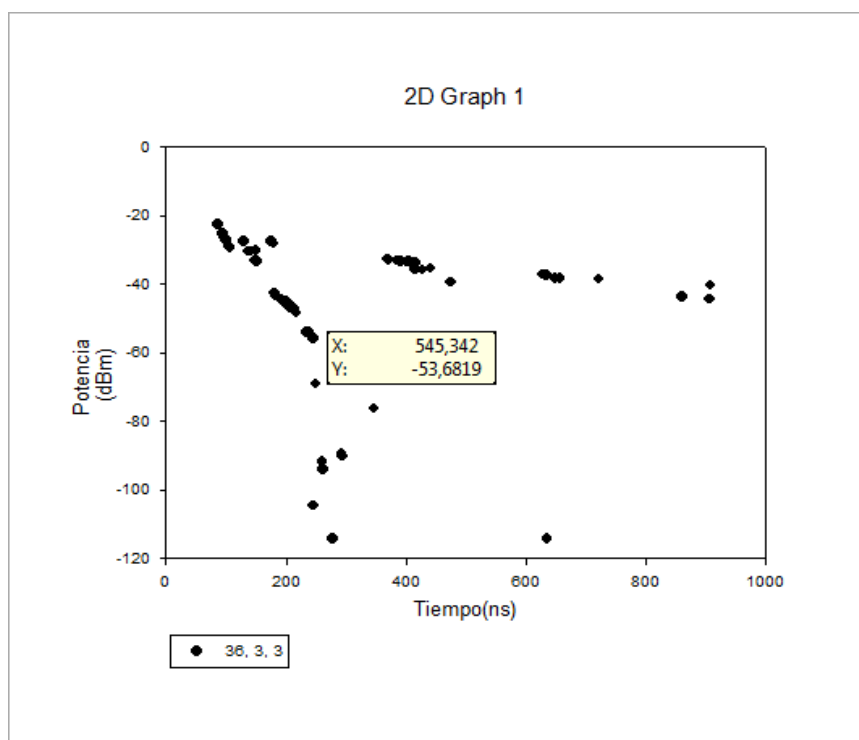


Figura157. PDPs tomados de la fila 36, la columna 3 y a una altura de 3m.

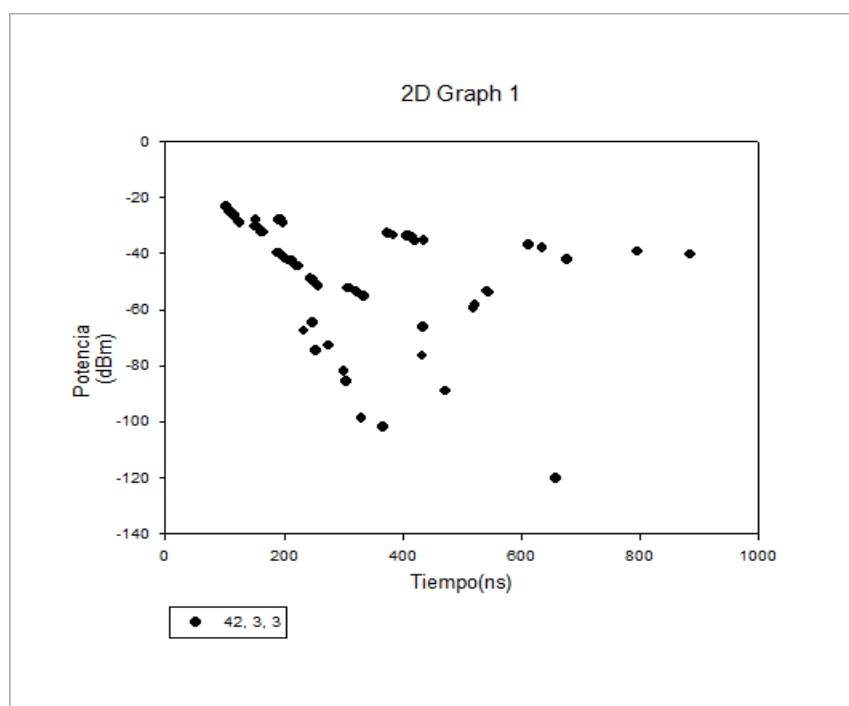


Figura158. PDPs tomados de la fila 42, la columna 3 y a una altura de 3m.



5. Conclusiones

Durante el desarrollo de esta investigación, se ha analizado la dependencia topológica de una red de sensores inalámbricos en relación con el canal de radio propagación para entornos interiores.

Las conclusiones del trabajo realizado han sido las siguientes:

- El software de trazado de rayos en 3D, proporciona estimaciones de potencia recibida que permiten realizar análisis muy completos de las características de la red en un determinado escenario.
- Debido a las características de propagación indoor (propagación multitrayecto por fenómenos tenidos en cuenta por el modelo como: difracción, reflexión y refracción), se hace muy difícil predecir los lugares ideales para la correcta colocación de los dispositivos inalámbricos.
- La potencia recibida está estrechamente relacionada con la localización del receptor, por lo que es necesario estudiar diferentes puntos receptores para estimar cuál de ellos logra proporcionar un nivel de señal de recepción de mayor calidad.
- Al depender fuertemente la potencia recibida de la posición de los elementos de la red (pequeñas variaciones en la posición pueden acarrear grandes cambios en la potencia recibida), se hace necesaria una evaluación de los diferentes puntos donde se deberían colocar los sensores, para garantizar la calidad mínima exigida para la transmisión.
- Además de la posición de los dispositivos, otros factores influyen fuertemente en la potencia recibida, como la presencia y cercanía de obstáculos.



- Los resultados confirman la gran influencia del entorno, por lo que si nuestro escenario tuviera otras características mínimamente diferentes los resultados obtenidos serían totalmente diferente a los actuales.

Resumiendo, la radio propagación en escenarios interiores es compleja. En estos, el nivel de potencia de la señal recibida depende fuertemente de la localización de la antena, de la tecnología utilizada y de las características propias del entorno.

Finalmente decir que realizando una buena planificación de la topología y la morfología de red, así como de la elección de los dispositivos inalámbricos más adecuados, el consumo de potencia y el rendimiento global del sistema pueden ser optimizados considerablemente.



6. Líneas Futuras

En el transcurso de la elaboración de este proyecto, se han podido encontrar nuevas investigaciones relacionadas con este tema, por ello sería acertado proponer un seguido de líneas futuras que podrían seguirse una vez finalizado el mismo.

Así por ejemplo, se plantea:

- Realización de las pruebas presentadas en este proyecto pero bajo la influencia de calles con una distribución más irregular (ni simétricos ni con formas homogéneas) o edificios que dispongan de otras características como por ejemplo: más habitaciones, puertas, garajes, trasteros, locales, etc.
- Evaluación del algoritmo de trazado de rayos al aumentar el número de antenas disponibles, es decir estudio del escenario con más de un contador emitiendo señal a la vez.
- Realización de medidas en campos reales para comparar los resultados con los obtenidos por el modelo de propagación de trazado de rayos en 3D.
- Realización de mayor número simulaciones para intentar abarcar todos los casos medidos empíricamente, y poder comparar los resultados entre ellos.
- Obtener datos de simulación mediante otro software o modelos de propagación diferente, de manera que podamos quedarnos con el que más se ajuste a la realidad.
- Estudiar en qué medida influirían los factores atmosféricos en la recepción de la señal emitida por el emisor.



- Estudiar las interferencias entre las tres tecnologías tenidas en cuenta en el presente proyecto: ZigBee, Wi-Fi y Bluetooth así como analizar la presencia de otras diferentes tecnologías añadidas.
- Estudiar cómo la presencia de electrodomésticos, como los microondas, puedan interferir en el correcto funcionamiento de la red de sensores inalámbricos.
- Analizar cómo la presencia de personas en el escenario puede influir en la propagación de la señal. Sobre todo en cuanto se refiere a la absorción causado por el propio cuerpo.



7. Bibliografía

[1] Francisco Casellas, Guillermo Velasco, Francesc Guinjoan, “El concepto de Smart Metering en el nuevo escenario de distribución eléctrica”, Departament d’ Enginyeria Electrónica (DEE) – Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

[2] Francesco Benzi, Member, IEEE, Norma Anglani, Member, IEEE, Ezio Bassi, and Lucia Frosini, “Electricity Smart Meters Interfacing the Households”, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 58, Nº. 10, OCTOBER 2011.

[3] Shuang Wang, Lijuan Cui, Jialan Que, Dae-Hyun Choi, Xiaoqian Jiang, Samuel Cheng, and Le Xie, “A Randomized Response Model for Privacy Preserving Smart Metering” IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID, VOL. 3, NO. 3, SEPTEMBER 2012.

[4] Félix Gómez Mármol, NEC Europe Ltd. Christoph Sorge, University of Paderborn Osman Ugus, HAW Hamburg Gregorio Martínez Pérez, University of Murcia, “Do Not Snoop My Habits: Preserving Privacy in the Smart Grid”, IEEE Communications Magazine May 2012.

[5] Y. Xiao, Y. Pan, “Emerging Wireless LAN’s, Wireless PAN’s, and Wireless MAN’s, IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16, Wireless Standard Family”, John Wiley & Sons, 2009

[6] H. H. Chen, M. Guizani, “Next Generation Wireless Systems and Networks”, John Wiley, 2006.



[7] JIANFENG WANG, PHILIPS,” ZIGBEE LIGHT LINK AND ITS APPLICATIONSS”, IEEE Wireless Communications • August 2013

[8] ZigBee Light Link Standard Version 1.0, ZigBee Document 11-0037-10, Apr. 5th, 2012.

[9] Ye Yan, University of Nebraska-Lincoln Rose Qingyang Hu, Utah State University Sajal K. Das, The University of Texas at Arlington Hamid Sharif and Yi Qian, University of Nebraska-Lincoln, “An Efficient Security Protocol for Advanced Metering Infrastructure in Smart Grid”.

[10] Modelo de Cobertura para Redes Inalámbricas de Interiores, Capitulo 6, Radiopropagación Indoor

[11] Joan Carles López Sancho 2012, “Smart meters en España, los contadores de luz y agua inteligentes”.

[12] Victor Hugo Serna, Ingeniero de Aplicaciones de Maxim France, “Comunicaciones a través de la red eléctrica – PLC”.

[13] Asociación Nacional de Ahorro y Eficiencia Energética, “SOLICITUD Y PROPUESTA DE CAMBIO DE NORMATIVA: SMART METER COMO ELEMENTO UNIVERSAL DE MEDIDA”.

[14] Endesa Dirección de Acceso de Clientes y Medida Medida-Proyecto de Telegestión, “Sistema de Telegestión de Endesa”.

[15] Peter H. Sierck, Principal/Industrial Hygienist, December 2011, “A Technical Paper to Clarify RF Radiation Emissions and Measurement Methodologies”.

[16] Shahin Farahani, “ ZigBee Wireless Networks and Transceivers”.



- [17] <http://www.zigbee.org>
- [18] European Smart Metering Alliance. [En línea]. Disponible www.esma-home.eu/
- [19] [http://www.eldiario.es/turing/Contadores-inteligentes-usos-cuestionables_0_125638280 .html](http://www.eldiario.es/turing/Contadores-inteligentes-usos-cuestionables_0_125638280.html)
- [20] <http://upcommons.upc.edu/e-prints/bitstream/2117/9066/1/5025.pdf>
- [21] <http://jorgemoralesdelabra.wordpress.com/2012/11/29/pero-que-tontos-son-estos-contadores-inteligentes/>
- [22] <http://www.slideshare.net/M2MTelefonica/presentation-26-092013movilforummx>
- [23] <http://grupolasser.com/los-nuevos-contadores-digitales-ayudaran-a-ahorrar-energia-y-dinero/>
- [24] <http://ieeexplore.ieee.org/search/searchresult.jsp?queryText=privacy+preserving+smart+ meter>
- [25] <http://www.slideshare.net/M2MTelefonica/presentation-26-092013movilforummx>
- [26] <http://www.endesa.com/es/saladeprensa/multimedia/videos/Paginas/videosalbum.asp>
- [27] <http://www.libelium.com/>
- [28] <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/dynhome.jsp>
- [29] <http://setis.ec.europa.eu/about-setis/technology-roadmap/european-initiative-on-smart-cities>



[30] <http://www.bluetooth.com>

[31] http://elpais.com/diario/2010/12/12/negocio/1292162603_850215.html

[32] http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/vila_b_ca/capitulo1.pdf
<http://redes-moviles-e-inalambricas.wikispaces.com/Factores+que+afectan+la+transmisi%C3%B3n+inal%C3%A1mbrica>

[33] <http://salauztemoltzi.wikispaces.com/2.3.+Caracter%C3%ADsticas+de+los+modelos+de+propagaci%C3%B3n>.

[34] http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/trevino_c_jt/capitulo5.pdf

[35] <http://es.scribd.com/doc/57729010/METODOS-EMPIRICOS-DE-PROPAGACION-1>

[36] <http://mdpropagacion.blogspot.com.es/2013/07/modelo-determinista.html>

[37] http://www.eonespana.com/content/dam/eonespana-com/cms/es/downloads/m/Manual_15x21_EON_distrib.pdf

[38] <http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/transparencia/Sensores.pdf>



8. Anexos

8.1 Herramientas utilizadas.

Para llevar a cabo las simulaciones mediante el algoritmo de trazado de rayos 3D, se ha utilizado:

8.1.1 Hardware

El Hardware utilizado para las simulaciones ha sido un ordenador LENOVO thinkstation con sistema operativo Windows7 de 64 bits del laboratorio “Luis Mercader” de antenas y microondas de la Universidad Pública de Navarra, debido a la elevada capacidad de memoria que requieren dichas simulaciones.

Entre alguna de sus características, podemos mencionar:

- Procesador Intel(R) Xenon(R) CPU X5650 @ 2,67GHz 2,66GHz (2 procesadores).
- Memoria SDRAM2 64 Gb.
- Tarjeta gráfica nVidiaQuadro 600 de 128 MB.
- Disco duro de Seagate 1Tbits SCSI a 7200 rpm.



Figura159. Ordenador LENOVO thinkstation del laboratorio “Luis Mercader” de antenas y microondas.

8.1.2 Software

8.1.2.1 Matlab

El nombre matlab es un acrónimo: “MATrix LABoratory”, un entorno de desarrollo integrado de computación numérica, que utiliza el lenguaje de programación M, desarrollado en 1984 por la empresa Math-Works.

La elección de usar matlab para implementar el algoritmo en el lenguaje de programación M ha sido promovida por el hecho de que hoy en día, matlab es un programa muy potente, con un entorno agradable, que incluye herramientas de cálculo científico y técnico.

Además, Matlab ofrece una gran facilidad a la hora de mostrar los resultados gracias a sus potentes herramientas gráficas, así como un lenguaje de programación de alto nivel, que permite realizar operaciones matemáticas numéricas de un modo muy sencillo, gracias a la simplicidad de su sintaxis.

Las características más importantes de Matlab son:

- Entorno de desarrollo para la gestión de código, archivos y datos.

- Funciones para integrar los algoritmos basados en MATLAB con aplicaciones externas, e idiomas, tales como C, C++, Fortran, Java, COM y Microsoft Excel.
- Funciones matemáticas para el álgebra lineal, estadística, análisis de Fourier, filtrado, optimización e integración numérica.
- Funciones para la visualización de datos en gráficas en 2 y 3 dimensiones.
- Herramientas para la creación de interfaces gráficas de usuario personalizadas.
- Entorno interactivo para la iterativa exploración, el diseño y la solución de problemas.
- Herramientas de desarrollo para mejorar la calidad y el mantenimiento del código, así como para maximizar el rendimiento.

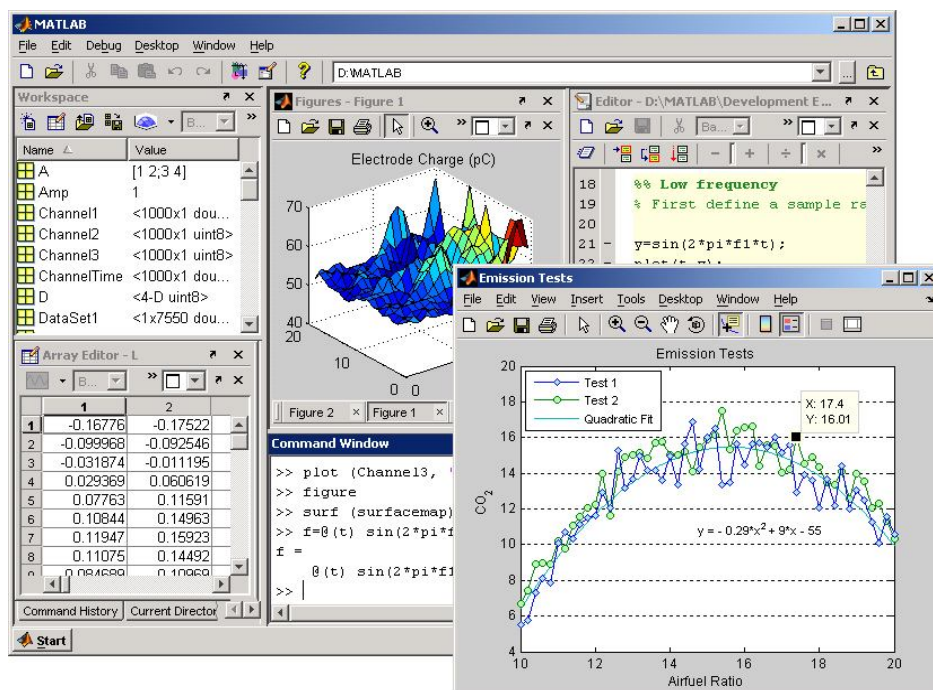


Figura160. Matlab R2009b 64 Bits de MathWorks.



8.1.2.2 SigmaPlot.

SigmaPlot le ayuda a crear gráficos de una forma rápida y sencilla, a partir de una sencilla hoja de cálculo permite generar gráficos de alta calidad y efectuar análisis estadísticos complejos.

Además SigmaPlot ofrece la integración con Microsoft Office, para acceder fácilmente a Microsoft Excel y presentaciones PowerPoint.

Con SigmaPlot, los usuarios podrán exportar gráficos como objetos dinámicos Web y colocarlos posteriormente en un sitio Web o una página Intranet en lugar de utilizar simples gráficos tipo GIF o JPEG.

La aplicación WebViewer de SigmaPlot permitirá a todo el mundo (tanto si disponen como no de SigmaPlot) explorar los datos utilizados para crear el gráfico y realizar zooms o impresiones de las imágenes en alta resolución directamente desde un navegador Web.

Opcionalmente se podrán realizar configuraciones de seguridad para restringir el acceso, por ejemplo, a determinado tipo de usuarios.

Las características más importantes de SigmaPlot son:

- Más de 100 tipos de gráficos 2D y 3D.
- 50 pruebas estadísticas con asistente.
- Integración con Microsoft Office.
- Extensible a través de macros Visual Basic.
- Magnífica ayuda en línea.

Nota: Este programa recoge los datos resultantes de la simulación del modelo de trazado de rayos del presente proyecto y permite crear gráficas bidimensionales de potencia recibida representativas del radio de cobertura de un corte determinado de la altura del escenario que previamente ha sido simulado en Matlab.

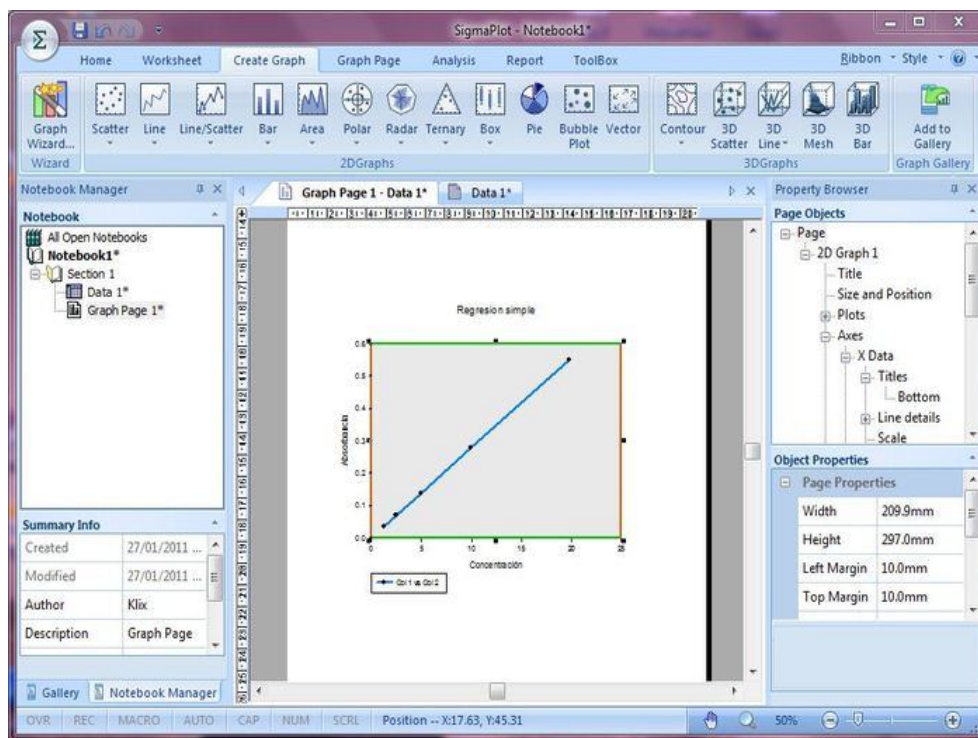


Figura161. SigmaPlot v.11.0.

8.1.2.3 Microsoft Office.

Dentro del entorno Microsoft Office 2010 se han utilizado dos programas en concreto:

- **Microsoft Excel.**

Excel es un programa diseñado para la elaboración de hojas de trabajo en las que se requiera realizar diversos tipos de cálculos. Planeación, presupuestos, estados financieros y pronósticos son algunas de las aplicaciones de este programa.



Posee una elegante interfaz, práctica y funcional, donde el usuario podrá gestionar rápidamente su información y visualizar todos los datos en la forma mejor clasificada.

Se considera una versión electrónica de una hoja de papel tabulada. La potencia de una de estas hojas de cálculo está determinada por las fórmulas que se introducen en sus celdas.

Si se cambian valores de la hoja, las formulas, recalculan los resultados de manera automática e instantánea.

Las características más importantes de Microsoft Excel son:

- Gráficos plasmados desde la propia celda ya que se encuentran integrados en las mismas.
- Gran cantidad de plantillas para la creación de estructuras donde se alojaran los datos.
- Creación de documentos compartidos.
- Gráficos dinámicos y elegantes.
- Conexión de la aplicación con Internet para compartir los archivos.

Nota: Microsoft Excel se ha utilizado para representar gráficas comparativas del presente proyecto. En concreto para realizar gráficas tipo radiales y dibujar los perfiles de retardo potencia.

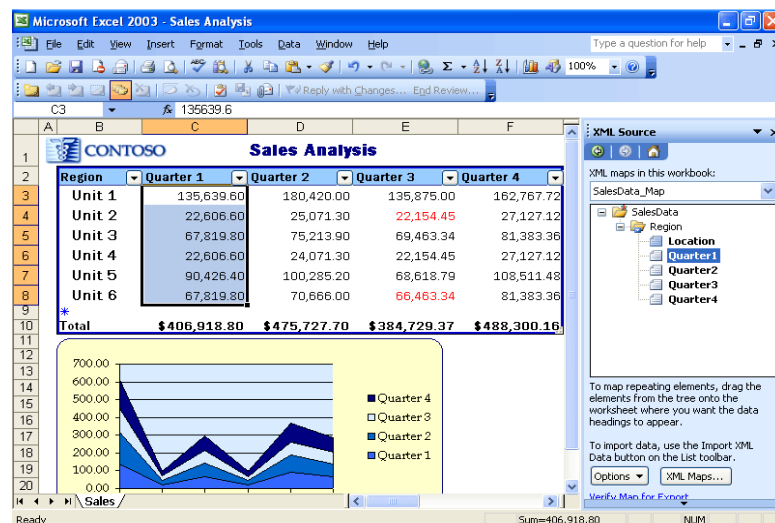


Figura162. Microsoft Excel 2010.

- **Microsoft Word2010.**

El programa Microsoft Word, es un poderoso procesador de textos. Básicamente, un procesador de texto, es un programa que nos permite escribir, y luego realizar todas las modificaciones necesarias para poderlo imprimir.

Posee una marcada tendencia gráfica y esto se manifiesta en el diseño de las pantallas, en los cuadros de diálogos y en la forma de elegir una actividad determinada dentro de las mismas mediante el uso de íconos.

Las características más importantes de Microsoft Word son:

- Generar tablas y gráficas.
- Crear hiperenlaces a páginas web.
- Usar esquemas de color predefinidos.
- Insertar imágenes y capturas de pantalla.
- Guarda a PDF.

- Herramientas de corrección y traducción.
- Macros para automatizar tareas.



Figura163. Microsoft Word 2010.

8.1.2.4 Código para la simulación con trazado de rayos en 3D

Este apartado está referido al código utilizado para implementar el escenario descrito en el apartado 4.1 (Simulación y Resultados. Creación del escenario) y llevar a cabo la simulaciones necesarias durante el proyecto.

Se muestra el código para la creación del escenario con una de las ubicaciones del transceptor.

Para el resto de ubicaciones, solamente hace falta cambiar las coordenadas que se le imponen a la antena transmisora para así variar su posición sobre el escenario.



La función fabricaedif2.m permite la creación y distribución de los diferentes elementos que constituirán las plantas de nuestro escenario, tales como paredes, suelos o ventanas.

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% función fabricaedif2 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

function planta =
fabricaedif2(x0,y0,z0,suelotechox,suelotechoy,zplanta,plantas,posicion,
hsuelo,dirparedintermedia)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% PLANTA %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

suelotechoz=0.4;
nplantas=plantas;
anchooparedventana=(suelotechox/2-(suelotechox*0.2+0.5)-suelotechox*0.23/2);
anchooparedventanacentral=suelotechox-anchooparedventana*2-suelotechox*0.23*2;

for j=1:nplantas
    plantaz(j)=zplanta*j;
    auxiliar=24*(j-1)+1;

    %paredes planta:
    planta(auxiliar,:)= [x0,y0,plantaz(j)-
        zplanta+hsuelo,suelotechox,suelotechoy,suelotechoz,7];

    planta(auxiliar+1,:)= [x0,y0,plantaz(j)+hsuelo,suelotechox,suelotechoy,suelotechoz,7];

    planta(auxiliar+2,:)= [x0-suelotechox/2+suelotechoz/2,y0,z0+plantaz(j)/2+hsuelo,
        suelotechoz, suelotechoy,plantaz(j)+suelotechoz,7]; %pared izquierda

    planta(auxiliar+3,:)= [x0+suelotechox/2-suelotechoz/2,y0,z0+plantaz(j)/2+hsuelo,
        suelotechoz,suelotechoy,plantaz(j)+suelotechoz,7]; %pared derecha

    %ventanas
    planta(auxiliar+4,:)= [x0-suelotechox*0.2-0.5,y0-suelotechoy/2,plantaz(j)-
        plantaz(1)/2+hsuelo, suelotechox*0.23,0.1,zplanta*0.4,5]; %ventana izquierda frontal

    planta(auxiliar+5,:)= [x0+suelotechox*0.2+0.5,y0-suelotechoy/2,plantaz(j)-
        plantaz(1)/2+hsuelo, suelotechox*0.23,0.1,zplanta*0.4,5]; %ventana derecha frontal

    planta(auxiliar+6,:)= [x0-suelotechox*0.2-0.5,y0+suelotechoy/2,plantaz(j)-
        plantaz(1)/2+hsuelo, suelotechox*0.23,0.1,zplanta*0.4,5]; %ventana izquierda trasera

    planta(auxiliar+7,:)= [x0+suelotechox*0.2+0.5,y0+suelotechoy/2,plantaz(j)-
        plantaz(1)/2+hsuelo, suelotechox*0.23,0.1,zplanta*0.4,5]; %ventana derecha trasera

```



%paredes ventanas frontales

planta(auxiliar+8,:)= $[x_0 - \text{suelotechox} * 0.2 - 0.5, y_0 - \text{suelotechoy} / 2 - 0.2, \text{plantaz}(j) - \text{plantaz}(1) / 2 + \text{hsuelo} + (\text{zplanta} * 0.4) / 2 + ((\text{zplanta} - (\text{zplanta} * 0.4)) / 2) / 2, \text{suelotechox} * 0.23, \text{suelotechoz}, (\text{zplanta} - (\text{zplanta} * 0.4)) / 2, 7]$; %pared superior ventana izquierda

planta(auxiliar+9,:)= $[x_0 + \text{suelotechox} * 0.2 + 0.5, y_0 - \text{suelotechoy} / 2 - 0.2, \text{plantaz}(j) - \text{plantaz}(1) / 2 + \text{hsuelo} + (\text{zplanta} * 0.4) / 2 + ((\text{zplanta} - (\text{zplanta} * 0.4)) / 2) / 2, \text{suelotechox} * 0.23, \text{suelotechoz}, (\text{zplanta} - (\text{zplanta} * 0.4)) / 2, 7]$; %pared superior ventana derecha

planta(auxiliar+10,:)= $[x_0 - \text{suelotechox} * 0.2 - 0.5, y_0 - \text{suelotechoy} / 2 - 0.2, \text{plantaz}(j) - \text{plantaz}(1) / 2 + \text{hsuelo} - ((\text{zplanta} * 0.4) / 2 + ((\text{zplanta} - (\text{zplanta} * 0.4)) / 2) / 2), \text{suelotechox} * 0.23, \text{suelotechoz}, (\text{zplanta} - (\text{zplanta} * 0.4)) / 2, 7]$; %pared inferior ventana izquierda

planta(auxiliar+11,:)= $[x_0 + \text{suelotechox} * 0.2 + 0.5, y_0 - \text{suelotechoy} / 2 - 0.2, \text{plantaz}(j) - \text{plantaz}(1) / 2 + \text{hsuelo} - ((\text{zplanta} * 0.4) / 2 + ((\text{zplanta} - (\text{zplanta} * 0.4)) / 2) / 2), \text{suelotechox} * 0.23, \text{suelotechoz}, (\text{zplanta} - (\text{zplanta} * 0.4)) / 2, 7]$; %pared inferior ventana derecha

planta(auxiliar+12,:)= $[x_0 + (\text{suelotechox} * 0.2 + (\text{suelotechox} * 0.23 / 2 + 0.5)) + \text{anchooparedventana} / 2, y_0 - \text{suelotechoy} / 2 - 0.2, \text{plantaz}(j) - (\text{plantaz}(j) / 2) + \text{hsuelo}, \text{anchooparedventana}, \text{suelotechoz}, \text{plantaz}(j) + \text{suelotechoz}, 7]$; %pared derecha

planta(auxiliar+13,:)= $[x_0 - (\text{suelotechox} * 0.2 + (\text{suelotechox} * 0.23 / 2 + 0.5)) + \text{anchooparedventana} / 2, y_0 - \text{suelotechoy} / 2 - 0.2, \text{plantaz}(j) - (\text{plantaz}(j) / 2) + \text{hsuelo}, \text{anchooparedventana}, \text{suelotechoz}, \text{plantaz}(j) + \text{suelotechoz}, 7]$; %pared izquierda

planta(auxiliar+14,:)= $[x_0, y_0 - \text{suelotechoy} / 2 - 0.2, \text{plantaz}(j) - (\text{plantaz}(j) / 2) + \text{hsuelo}, \text{anchooparedventanacentral}, \text{suelotechoz}, \text{plantaz}(j) + \text{suelotechoz}, 7]$; %pared central

%paredes ventanas traseras

planta(auxiliar+15,:)= $[x_0 - \text{suelotechox} * 0.2 - 0.5, y_0 + \text{suelotechoy} / 2 + 0.2, \text{plantaz}(j) - \text{plantaz}(1) / 2 + \text{hsuelo} + (\text{zplanta} * 0.4) / 2 + ((\text{zplanta} - (\text{zplanta} * 0.4)) / 2) / 2, \text{suelotechox} * 0.23, \text{suelotechoz}, (\text{zplanta} - (\text{zplanta} * 0.4)) / 2, 7]$; %pared superior ventana izquierda

planta(auxiliar+16,:)= $[x_0 + \text{suelotechox} * 0.2 + 0.5, y_0 + \text{suelotechoy} / 2 + 0.2, \text{plantaz}(j) - \text{plantaz}(1) / 2 + \text{hsuelo} + (\text{zplanta} * 0.4) / 2 + ((\text{zplanta} - (\text{zplanta} * 0.4)) / 2) / 2, \text{suelotechox} * 0.23, \text{suelotechoz}, (\text{zplanta} - (\text{zplanta} * 0.4)) / 2, 7]$; %pared superior ventana derecha

planta(auxiliar+17,:)= $[x_0 - \text{suelotechox} * 0.2 - 0.5, y_0 + \text{suelotechoy} / 2 + 0.2, \text{plantaz}(j) - \text{plantaz}(1) / 2 + \text{hsuelo} - ((\text{zplanta} * 0.4) / 2 + ((\text{zplanta} - (\text{zplanta} * 0.4)) / 2) / 2), \text{suelotechox} * 0.23, \text{suelotechoz}, (\text{zplanta} - (\text{zplanta} * 0.4)) / 2, 7]$; %pared inferior ventana izquierda

planta(auxiliar+18,:)= $[x_0 + \text{suelotechox} * 0.2 + 0.5, y_0 + \text{suelotechoy} / 2 + 0.2, \text{plantaz}(j) - \text{plantaz}(1) / 2 + \text{hsuelo} - ((\text{zplanta} * 0.4) / 2 + ((\text{zplanta} - (\text{zplanta} * 0.4)) / 2) / 2), \text{suelotechox} * 0.23, \text{suelotechoz}, (\text{zplanta} - (\text{zplanta} * 0.4)) / 2, 7]$; %pared inferior ventana derecha

planta(auxiliar+19,:)= $[x_0 + (\text{suelotechox} * 0.2 + (\text{suelotechox} * 0.23 / 2 + 0.5)) + \text{anchooparedventana} / 2, y_0 + \text{suelotechoy} / 2 + 0.2, \text{plantaz}(j) - (\text{plantaz}(j) / 2) + \text{hsuelo}, \text{anchooparedventana}, \text{suelotechoz}, \text{plantaz}(j) + \text{suelotechoz}, 7]$; %pared derecha



```

planta(auxiliar+20,:)=x0-(suelotechox*0.2+(suelotechox*0.23/2+0.5)+
anchooparedventana/2),y0+suelotechoy/2+0.2,plantaz(j)-(plantaz(j)/2)+hsuelo,
anchooparedventana,suelotechoz,plantaz(j)+suelotechoz,7]; %pared izquierda

planta(auxiliar+21,:)=x0,y0+suelotechoy/2+0.2,plantaz(j)-(plantaz(j)/2)+hsuelo,
anchooparedventanacentral,suelotechoz,plantaz(j)+suelotechoz,7]; %pared central

```

```
%paredes intermedias:
```

```
if dirparedintermedia==0
```

```

planta(auxiliar+23,:)=x0,y0,plantaz(j)-plantaz(1)/2+hsuelo,suelotechox-
suelotechoz*2,suelotechoz,plantaz(1)-0.4,7];

```

```
end
```

```
if dirparedintermedia==1
```

```

planta(auxiliar+22,:)=x0,y0,plantaz(j)-plantaz(1)/2+hsuelo,suelotechoz,suelotechoy,
plantaz(1)-0.4,7];

```

```
end
```

```
end;
```

```
%%%%%%%%%%%% POSICIÓN%%%%%%%%%%%%
```

```
matrizcambio=planta;
```

```
matrizcambio(:,1)=planta(:,1)-x0;
```

```
matrizcambio(:,2)=planta(:,2)-y0;
```

```
matrizcambio(:,3)=planta(:,3)-z0;
```

```
matrizvir=zeros(size(planta));
```

```
matrizvir(:,1)=x0;
```

```
matrizvir(:,2)=y0;
```

```
matrizvir(:,3)=z0;
```

```
if posicion==2
```

```
planta=matrizvir-matrizcambio
```

```
planta(:,3)=matrizvir(:,3)+matrizcambio(:,3);
```

```
planta(:,4)=-planta(:,4);
```

```
planta(:,5)=-planta(:,5);
```

```
planta(:,6)=-planta(:,6);
```

```
planta(:,7)=-planta(:,7);
```

```
end
```

```
if posicion==3
```

```
planta(:,1)=matrizvir(:,1)-matrizcambio(:,2);
```

```
planta(:,2)=matrizvir(:,2)+matrizcambio(:,1);
```

```
planta(:,4)=matrizcambio(:,5);
```

```
planta(:,5)=matrizcambio(:,4);
```

```
end
```

```
if posicion==4
```

```
planta(:,1)=matrizvir(:,1)+matrizcambio(:,2);
```

```
planta(:,2)=matrizvir(:,2)-matrizcambio(:,1);
```

```
planta(:,4)=matrizcambio(:,5);
```

```
planta(:,5)=matrizcambio(:,4);
```

```
end
```



end

A continuación mostramos la función `crearescenarioFABRICA.m`, en la que se declaran parámetros como la posición y el material de las paredes de los edificios así como también los parámetros de la antena transmisora: rebotes, frecuencia, coordenadas, etc.

%%%%%%%%%%%%%%función principal crearescenariofabrica%%%%%%%%%%%%%%

function [room,conexiones,antenastx,antenasrx,rebotesdentrodeobstaculo,guardoparametrosdentroobstaculos,difraccion]= crearescenarioFABRICA

%%%%%%%%%%%%%% HABITACION 1 %%%%%%%%%%%%%%%

a1=120; %largo en x
b1=58; %ancho en y
c1=20; %alto en z
Resx1=ceil(a1/1); %resoluciones
Resy1=ceil(b1/1);
Resz1=ceil(c1/1);
m1=0; %material interior

edificio1room1=fabricaedif2(5+3,10+3,0,10,20,3,5,1,0.5,0); %Posición de x, posición de y, posición de z, anchura de x, largo de y, alto de z, número de pisos, posición, altura de la primera planta, dirección de la pared intermedia.

edif2=fabricaedif2((5*3)+3,10+3,0,10,20,3,5,1,0.5,0);
edif3=fabricaedif2(5*(3+2)+3,10+3,0,10,20,3,5,1,0.5,0);
edif4=fabricaedif2(5*(3+2)+12+10+3,10+3,0,10,20,3,5,1,0.5,0);
edif5=fabricaedif2(5*(3+2+2)+12+10+3,10+3,0,10,20,3,5,1,0.5,0);
edif6=fabricaedif2(5*(3+2+4)+12+10+3,10+3,0,10,20,3,5,1,0.5,0);
edif7=fabricaedif2(5*(3+2+4)+12+10+12+10+3,10+3,0,10,20,3,5,1,0.5,0);
edif8=fabricaedif2(5*(3+2+4+2)+12+10+12+10+3,10+3,0,10,20,3,5,1,0.5,0);
edif9=fabricaedif2(5*(3+2+4+4)+12+10+12+10+3,10+3,0,10,20,3,5,1,0.5,0);
edif10=fabricaedif2(5+3,20+12+10+3,0,10,20,3,5,1,0.5,0);
edif11=fabricaedif2((5*3)+3,20+12+10+3,0,10,20,3,5,1,0.5,0);
edif12=fabricaedif2(5*(3+2)+3,20+12+10+3,0,10,20,3,5,1,0.5,0);
edif13=fabricaedif2(5*(3+2)+12+10+3,20+12+10+3,0,10,20,3,5,1,0.5,0);
edif14=fabricaedif2(5*(3+2+2)+12+10+3,20+12+10+3,0,10,20,3,5,1,0.5,0);
edif15=fabricaedif2(5*(3+2+4)+12+10+3,20+12+10+3,0,10,20,3,5,1,0.5,0);
edif16=fabricaedif2(5*(3+2+4)+12+10+12+10+3,20+12+10+3,0,10,20,3,5,1,0.5,0);
edif17=fabricaedif2(5*(3+2+4+2)+12+10+12+10+3,20+12+10+3,0,10,20,3,5,1,0.5,0);
edif18=fabricaedif2(5*(3+2+4+4)+12+10+12+10+3,20+12+10+3,0,10,20,3,5,1,0.5,0);

pintaobstaculo(a1,b1,c1,edificio1room1);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,edif2);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,edif3);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,edif4);



```

pintaobstaculo(a1,b1,c1,edif5);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,edif6);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,edif7);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,edif8);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,edif9);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,edif10);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,edif11);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,edif12);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,edif13);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,edif14);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,edif15);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,edif16);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,edif17);
pintaobstaculo(a1,b1,c1,edif18);
axis([0 a1 0 b1 0 c1])

% obstaculos = [x,y,z,Ax,Ay,Az,material]
%hold on
%title('habitacion 1')
%figure
obstaculos1=[edificio1room1;edif2;edif3;edif4;edif5;edif6;edif7;edif8;edif9;edif10;edif11
;edif12;edif13;edif14;edif15;edif16;edif17;edif18];

paredes1=[0,b1/2,c1/2,10^-9,b1,c1,0,0.005; %pared izda AIRE
a1/2,b1,c1/2,a1,10^-9,c1,0,0.005; %pared fondo
a1,b1/2,c1/2,10^-9,b1,c1,0,0.005; %pared dcha
a1/2,0,c1/2,a1,10^-9,c1,0,0.005; %pared frontal
a1/2,b1/2,0,a1,b1,10^-9,7,0.005; %suelo
a1/2,b1/2,c1,a1,b1,10^-9,0,0.005]; %techo

pintaobstaculo(a1,b1,c1,paredes1);
% paredes = [x,y,z,Ax,Ay,Az,material,grosor]
% material0 : aire
% material1 : madera
% material2 : pared ladrillo
% material3 : pared pladur
% material4 : puertas
% material5 : cristal
% material6 : aluminio
% material7 : hormigon
room1=prepararhabitacion(a1,b1,c1,Resx1,Resy1,Resz1,m1,obstaculos1,paredes1);

%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%% CONEXIONES %%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%
room=cell(1,1); %cell{1,3} si hay tres habitaciones
room{1}=room1;
%room{2}=room2;
%room{3}=room3;

```



```

conexiones=zeros(1,14);
% CONEXIONES [numerohabitacion,x0,y0,z0,Ax,Ay,Az,numerootrahabitacion,.....]
% da las coordenadas relativas de la conexion y tal
%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%% ANTENAS TX Y RX %%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%

antenastx=[1,3.8,22.2,1.6,0,pi/180,2*pi-pi/180,0,pi/180,pi,6,inf,1,0,0,0,0,0,
2400000000, 0, 0,0,0,0,0,0,0,0]; %ojo que teta solo va de 0 a pi como max

plot3(3.8,22.2,1.6,'or'); % primer pto del tx
rebotesdentrodeobstaculo=0;
guardoparametrosdentroobstaculos=0;
difraccion=0;
% numeroderayos=length(antenastx(5):antenastx(6):antenastx(7))*length(antenastx(8):ant
enastx(9):antenastx(10)) %numero de rayos
% antenatx [ numerohabitacion, x,y,z,phii,Aphi,phif,tethai,Atheta,thetaf,nrebotes,
taumaxima, numerodeantena,esficticiaporrefraccion,thetao,phio,tau0,reflexion0,
frecuencia] 20 movidas
antenasrx=zeros(1,8); %no pones antena tx y luego ves lo que captaría si pusiesemos
omnidireccionales en todos los cubos a la hora de sacar parámetros
% antenasrx=[1,6,5.1,1,0,2*pi,0,2*pi];
% plot3(6,5.1,1,'xr');
% antenasrx=[3,0.2,4,2.9,0,2*pi,0,pi;1,2.5,2.5,0.95,0,2*pi,0,pi;1,6.5,3.3,0.3,0,2*pi,0,pi;
2,5.5
,2.5,0.95,0,2*pi,0,pi;2,2.5,3.3,0.3,0,2*pi,0,pi;];

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%función principal crearescenariofabrica%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

Para lanzar el código, se utilizan también otras funciones como: la función “extraeparametros.m” donde se especifican valores tales como la potencia del transmisor, número de rebotes, etc.

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% función extraeparametros %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tic
Pr=1; % W
Tc=9E-9;
% Tc=4E-6;Rb=250Kbps;F=2.4GHz(Zigbee)% Para calcular Tc es la inversa de Rb
% % % % Tc=1.8E-6;Rb=54Mbps;F=5GHz(Wifi estándar IEEE 802.11a)% % % % %
% % % % Tc=9E-9;Rb=106Kbps;F=860-960MHz% % % % %
% % % % Tc=1E-8;Rb=100Mbps;F=2GHz% % % % %
Fc=868000000;
Cptx=[0,1];
Cprx=[0,1];

```



```

DirectividadTx=1; %tipo
DirectividadRx=1; %tipo
Atheta=pi/180;
Rebmax=6;
parametros =
calculaparametros(room,Pr,Tc,Fc,Cptx,Cprx,DirectividadTx,DirectividadRx,Atheta,
Rebmax);
numerohabitaciones = length(room);
campoE=cell(1,numerohabitaciones);

for i=1:numerohabitaciones
campoE{i}=cell(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
for k2=1:room{i}{1}(5)
for k3=1:room{i}{1}(6)
campoE{i}{k1,k2,k3}=parametros{i}{k1,k2,k3}{1}{1};
end
end
end
end

PotenciaTc=cell(1,numerohabitaciones); %supuesto isotrópica
for i=1:numerohabitaciones
PotenciaTc{i}=zeros(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
for k2=1:room{i}{1}(5)
for k3=1:room{i}{1}(6)
PotenciaTc{i}(k1,k2,k3)=parametros{i}{k1,k2,k3}{1}{2}(1);
end
end
end
end

PotenciaTcdB = cell(1,numerohabitaciones); %supuesto isotrópica
for i=1:numerohabitaciones
PotenciaTcdB{i}=zeros(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
for k2=1:room{i}{1}(5)
for k3=1:room{i}{1}(6)
if PotenciaTc{i}(k1,k2,k3) == 0
PotenciaTcdB{i}(k1,k2,k3) = -100;
else
PotenciaTcdB{i}(k1,k2,k3)=10*log10(PotenciaTc{i}(k1,k2,k3)/1E-3); %son dBm
end
end
end
end
end

RetardoPotencia=cell(1,numerohabitaciones); %supuesto isotrópica

```




```

for i=1:numerohabitaciones
RetardoPotencia{i}=cell(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
for k2=1:room{i}{1}(5)
for k3=1:room{i}{1}(6)
RetardoPotencia{i}{k1,k2,k3}=parametros{i}{k1,k2,k3}{1}{3};
end
end
end
end

PotenciaTcRX=cell(1,numerohabitaciones); %supuesto antena en rx
for i=1:numerohabitaciones
PotenciaTcRX{i}=zeros(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
for k2=1:room{i}{1}(5)
for k3=1:room{i}{1}(6)

PotenciaTcRX{i}(k1,k2,k3)=parametros{i}{k1,k2,k3}{1}{4}(1);
end
end
end
end

PotenciaTcdBRX = cell(1,numerohabitaciones); %supuesto antena en rx
for i=1:numerohabitaciones
PotenciaTcdBRX{i}=zeros(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
for k2=1:room{i}{1}(5)
for k3=1:room{i}{1}(6)
if PotenciaTcRX{i}(k1,k2,k3) == 0
PotenciaTcdBRX{i}(k1,k2,k3) = -200;
else

PotenciaTcdBRX{i}(k1,k2,k3)=10*log10(PotenciaTcRX{i}(k1,k2,k3)/1E-3);
end
end
end
end
end

RetardoPotenciaRX=cell(1,numerohabitaciones); %supuesto antena en rx
for i=1:numerohabitaciones
RetardoPotenciaRX{i}=cell(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
for k2=1:room{i}{1}(5)
for k3=1:room{i}{1}(6)
RetardoPotenciaRX{i}{k1,k2,k3}=parametros{i}{k1,k2,k3}{1}{5};
end
end
end
end

```



```
end
end
```

```
RetardoPotenciaNormalizado=RetardoPotencia; %suma todos los retardos y cada uno lo
divideentre la suma
for i=1:numerohabitaciones
% RetardoPotenciaNormalizado{i}=cell(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
for k2=1:room{i}{1}(5)
for k3=1:room{i}{1}(6)
aux=0;
for j=1:length(RetardoPotencia{i}{k1,k2,k3}(1,:))
aux=RetardoPotencia{i}{k1,k2,k3}(1,j)+aux;
end
RetardoPotenciaNormalizado{i}{k1,k2,k3}(1,:)= RetardoPotencia{i}{k1,k2,k3}(1,:)/
aux;
end
end
end
end
```

```
Retardomedio = cell(1,numerohabitaciones);
for i=1:numerohabitaciones
Retardomedio{i}=zeros(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
for k2=1:room{i}{1}(5)
for k3=1:room{i}{1}(6)
aux=0;
for j=1:length(RetardoPotencia{i}{k1,k2,k3}(1,:))
aux=RetardoPotenciaNormalizado{i}{k1,k2,k3}(1,j)*RetardoPotenciaNormalizado{i}
}{k1,k2,k3}(2,j)+aux;
end
Retardomedio{i}(k1,k2,k3)=aux;
end
end
end
end
```

```
Dispersion = cell(1,numerohabitaciones); %varianza --> obtiene a partir del retardo
normalizado y del retardo medio
for i=1:numerohabitaciones
Dispersion{i}=zeros(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
for k2=1:room{i}{1}(5)
for k3=1:room{i}{1}(6)
aux=0;
for j=1:length(RetardoPotencia{i}{k1,k2,k3}(1,:))
aux=(RetardoPotenciaNormalizado{i}{k1,k2,k3}(2,j)-Retardomedio{i}(k1,k2,k3))^
2*RetardoPotenciaNormalizado{i}{k1,k2,k3}(1,j)+aux;
end
```



```

Dispersion{i}(k1,k2,k3)=sqrt(aux);
end
end
end
end
RetardoPotenciaNormalizadoRX=RetardoPotenciaRX;
for i=1:numerohabitaciones
% RetardoPotenciaNormalizado{i}=cell(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
for k2=1:room{i}{1}(5)
for k3=1:room{i}{1}(6)
aux=0;
for j=1:length(RetardoPotenciaRX{i}{k1,k2,k3}(1,:))
aux=RetardoPotenciaRX{i}{k1,k2,k3}(1,j)+aux;
end
RetardoPotenciaNormalizadoRX{i}{k1,k2,k3}(1,:)= RetardoPotenciaRX{i}{k1,k2,k3}(1, :)/aux;
end
end
end
end
RetardomedioRX = cell(1,numerohabitaciones);
for i=1:numerohabitaciones
RetardomedioRX{i}=zeros(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
for k2=1:room{i}{1}(5)
for k3=1:room{i}{1}(6)
aux=0;
for j=1:length(RetardoPotenciaRX{i}{k1,k2,k3}(1,:))
aux=RetardoPotenciaNormalizadoRX{i}{k1,k2,k3}(1,j)*
RetardoPotenciaNormalizadoRX{i}{k1,k2,k3}(2,j)+aux;
end
RetardomedioRX{i}(k1,k2,k3)=aux;
end
end
end
end
DispersionRX = cell(1,numerohabitaciones);
for i=1:numerohabitaciones
DispersionRX{i}=zeros(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
for k2=1:room{i}{1}(5)
for k3=1:room{i}{1}(6)
aux=0;
for j=1:length(RetardoPotenciaRX{i}{k1,k2,k3}(1,:))
aux=(RetardoPotenciaNormalizadoRX{i}{k1,k2,k3}(2,j)-RetardomedioRX{i}(k1,k2,
k3))^2*RetardoPotenciaNormalizadoRX{i}{k1,k2,k3}(1,j)+aux;
end
DispersionRX{i}(k1,k2,k3)=sqrt(aux);

```



```

end
end
end
end
RetardoPotenciadB = RetardoPotencia;
for i=1:numerohabitaciones
% PotenciaTcdB{i}=zeros(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
for k2=1:room{i}{1}(5)
for k3=1:room{i}{1}(6)
for j=1:length(RetardoPotencia{i}{k1,k2,k3}(1,:))
if RetardoPotencia{i}{k1,k2,k3}(1,j) == 0
RetardoPotenciadB{i}{k1,k2,k3}(1,j) = -200;
else
RetardoPotenciadB{i}{k1,k2,k3}(1,j)=10*log10(RetardoPotencia{i}{k1,k2,k3}
}(1,j)/1E-3);
end
end
end
end
end
end
end
RetardoPotenciadBRX = RetardoPotenciaRX;
for i=1:numerohabitaciones
% PotenciaTcdB{i}=zeros(room{i}{1}(4),room{i}{1}(5),room{i}{1}(6));
for k1=1:room{i}{1}(4)
for k2=1:room{i}{1}(5)
for k3=1:room{i}{1}(6)
for j=1:length(RetardoPotenciaRX{i}{k1,k2,k3}(1,:))
if RetardoPotenciaRX{i}{k1,k2,k3}(1,j) == 0
RetardoPotenciadBRX{i}{k1,k2,k3}(1,j) = -200;
else
RetardoPotenciadBRX{i}{k1,k2,k3}(1,j)=10*log10(RetardoPotenciaRX{i}{k1,k2
,k3}(1,j)/1E-3);
end
end
end
end
end
end
end

TiempoExtraeParametros=toc
% save
/home/min/Escritorio/PFC/SIMULACIONES/SENSORES/SINANTENASRX/parametr
ossacados8.mat
campoE PotenciaTc PotenciaTcdB RetardoPotencia PotenciaTcRX PotenciaTcdBRX
RetardoPotenciaRX

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% función extraeparametros %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```



O como la función “directividad.m”, en la cual se especifica la directividad de las antenas.

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% función directividad %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
function factor = directividad(tipo,theta,phi)
```

```
if tipo == 0 % ISOTROPICA
```

```
factor = [1,1];
```

```
elseif tipo == 10 % ISOTROPICA
```

```
factor = [5.0119,1];
```

```
elseif tipo == 1 % OMNIDIRECCIONAL (Dipolo elemental eje y)
```

```
factor = [3.162,sin(theta)^2]; % típico 1.5
```

```
elseif tipo == 100 % OMNIDIRECCIONAL (Dipolo elemental eje y)
```

```
factor = [3.162,sin(theta)^2]; % típico 1.5
```

```
elseif tipo == 2 % OMNIDIRECCIONAL (Dipolo lambda/2 eje y)
```

```
factor = [1.64,(cos(pi/2*cos(theta))/sen(theta))^2]; % típico 1.64
```

```
elseif tipo == 3 % DIRECTIVA con ancho a -3 dB igual a ancho(simetria revolución  
entorno a eje z)
```

```
ancho=60; % grados
```

```
semiancho=(ancho/2)*pi/180; % radianes
```

```
x=1.39/(pi*sin(semiancho));
```

```
u=x*pi*sin(theta);
```

```
factor = [3.9811,(sin(u)/u)^2]; % 6dBi
```

```
elseif tipo == 4 % DIRECTIVA con ancho a -3 dB igual a ancho(simetria revolución  
entorno a eje x)
```

```
ancho=60; % grados
```

```
semiancho=(ancho/2)*pi/180; % radianes
```

```
x=1.39/(pi*sin(semiancho));
```

```
u=x*pi*sin(atan(sqrt(cos(theta)^2+sin(theta)^2*sin(phi)^2)/(sin(theta)*cos(phi))));
```

```
factor = [3.9811,(sin(u)/u)^2]; % 6dBi
```

```
elseif tipo == 5 % antena1 DIRECTIVA para el escenario de la furgoneta
```

```
% ancho=60; % grados
```

```
% semiancho=(ancho/2)*pi/180; % radianes
```

```
% x=1.39/(pi*sin(semiancho));
```

```
u=3*sin(theta);
```

```
factor = [9.5,(sin(u)/u)^2]; % 6dBi
```

```
elseif tipo == 6 % antena2 DIRECTIVA para el escenario de la furgoneta
```

```
u=3*sin(theta);
```

```
factor = [9.68,(sin(u)/u)^2]; % 6dBi
```

```
end
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% función directividad %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```




Además de las anteriores, se utilizan las funciones “guardoroom.m” y “guardoparametros.m” para indicar el número de habitaciones en que se puede dividir el escenario (una en este caso), las medidas de esas habitaciones así como sus resoluciones y el directorio donde se desean guardar los resultados.

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% función guardoroom %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Para subdividir la variable room%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

nhabitaciones=1;
a1=120; %largo en x
b1=58; %ancho en y
c1=20; %alto en z
Resx1=ceil(a1/1); %resoluciones
Resy1=ceil(b1/1);
Resz1=ceil(c1/1);
m1=0; %material interior

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% LAS RESOLUCIONES LAS TENDRÉ QUE CAMBIAR SEGÚN EL
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% ESCENARIO%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Guardo el tiempo que tarda en simular el escenario
save('/Users/Leyre3/Desktop/MaryoriB/ResultadosCODIGO1/tiempo.mat','tiempo');
for habitacion=1:nhabitaciones

    %Primero guardo en una sola variable las tres primeras celdas de room
    inforoom{habitacion}=cell(1,3);
    for i=1:3
        inforoom{1,i}=room{1,habitacion}{1,i};
    end;
    save(sprintf('/Users/Leyre3/Desktop/MaryoriB/ResultadosCODIGO1/Habitacion %d
    /inforoom%d.mat',habitacion,habitacion),'inforoom');

    %Para la celda 4 de room, voy a guardar un archivo .mat por cada una de lasResz
    if habitacion==1
        Resx=Resx1;
        Resy=Resy1;
        Resz=Resz1;
    elseif habitacion==2
        Resx=Resx2;
        Resy=Resy2;
        Resz=Resz2;
    elseif habitacion==3

```



```

Resx=Resx3;
Resy=Resy3;
Resz=Resz3;
elseif habitacion==4
Resx=Resx4;
Resy=Resy4;
Resz=Resz4;
elseif habitacion==5
Resx=Resx5;
Resy=Resy5;
Resz=Resz5;
elseif habitacion==6
Resx=Resx6;
Resy=Resy6;
Resz=Resz6;
elseif habitacion==7
Resx=Resx7;
Resy=Resy7;
Resz=Resz7;
end;
for indicez=1:Resz
roomcelda4Resz=cell(1,1);
roomcelda4Resz{1,1}=room{1,habitacion}{1,4}(:, :, indicez);
save(sprintf(
'/Users/Leyre3/Desktop/MaryoriB/ResultadosCODIGO1/Habitacion%d/roomcelda4Resz
%
d.mat',habitacion,indicez), 'roomcelda4Resz');
end;
end;
cd ..

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% función guardoroom %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% función guardoparametros %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Para subdividir la variable room%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

nhabitaciones=1;
a1=120; %largo en x
b1=58; %ancho en y
c1=20; %alto en z
Resx1=ceil(a1/1); %resoluciones
Resy1=ceil(b1/1);
Resz1=ceil(c1/1);
m1=0; %material interior

```



```
save('/Users/Leyre3/Desktop/MaryoriB/ResultadosCODIGO1/TiempoExtraeParametros.
mat','TiempoExtraeParametros');
```

```
for habitacion=1:nhabitaciones
```

```
if habitacion==1
```

```
Resx=Resx1;
```

```
Resy=Resy1;
```

```
Resz=Resz1;
```

```
elseif habitacion==2
```

```
Resx=Resx2;
```

```
Resy=Resy2;
```

```
Resz=Resz2;
```

```
elseif habitacion==3
```

```
Resx=Resx3;
```

```
Resy=Resy3;
```

```
Resz=Resz3;
```

```
elseif habitacion==4
```

```
Resx=Resx4;
```

```
Resy=Resy4;
```

```
Resz=Resz4;
```

```
elseif habitacion==5
```

```
Resx=Resx5;
```

```
Resy=Resy5;
```

```
Resz=Resz5;
```

```
elseif habitacion==6
```

```
Resx=Resx6;
```

```
Resy=Resy6;
```

```
Resz=Resz6;
```

```
elseif habitacion==7
```

```
Resx=Resx7;
```

```
Resy=Resy7;
```

```
Resz=Resz7;
```

```
end;
```

```
for indicez=1:Resz
```

```
RetPotdBRX=cell(1,1);
```

```
RetPotdBRX{1,1}=RetardoPotenciadBRX{1,habitacion}(:,indicez);
```

```
save(sprintf('/Users/Leyre3/Desktop/MaryoriB/ResultadosCODIGO1/GuardoParametros
/Habitacion%d/RetPotdBRX%d.mat',habitacion,indicez), 'RetPotdBRX');
```

```
CampoElectrico=cell(1,1);
```

```
CampoElectrico{1,1}=campoE{1,habitacion}(:,indicez);
```

```
save(sprintf(
'/Users/Leyre3/Desktop/MaryoriB/ResultadosCODIGO1/GuardoParametros/Habitacion
%d/CampoElectrico%d.mat',habitacion,indicez), 'CampoElectrico');
```

```
PotenciadBRX=cell(1,1);
```

```
PotenciadBRX{1,1}=PotenciaTcdBRX{1,habitacion}(:,indicez);
```



```
save(sprintf('/Users/Leyre3/Desktop/MaryoriB/ResultadosCODIGO1/GuardoParametros
/Habitacion%d/PotenciadBRX%d.mat',habitacion,indicez), 'PotenciadBRX');
end;
end;
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% función guardoparametros %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

Por último se hace uso de la función principal, desde la que se ejecutan todas las demás, la función bancopruebasV6.m.

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% función bancopruebas %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
cd crearescenario
```

```
[room,conexiones,antenastx,antenasrx,rebotessdentrodeobstaculo,guardoparametrosdentro
obstaculos,difraccion]= crearescenarioFABRICA
```

```
cd ..
```

```
cd canal
```

```
lanzasimulacion
```

```
cd canal
```

```
guardoroom
```

```
cd POSTPROCESOFINAL
```

```
cd CALCULAPARAMETROS
```

```
postproceso
```

%%%%%%%%%%%%%% función bancopruebas %%%%%%%%%%%%%%

8.2 Resultados Adicionales.

Dada la gran cantidad de información generada durante este proyecto, se tomó la decisión de mostrar en el apartado 4, únicamente los resultados de mayor interés que nos permitan analizar los diferentes aspectos del sistema, e incluir en este anexo el resto de los datos que se han obtenido.

Así pues tenemos:

- Mapas bidimensionales para los niveles de potencia recibidos en nuestro escenario urbano, teniendo en cuenta un único edificio de 5 plantas con los siguientes parámetros: potencia a 1 W, número de rebotes a 6, la resolución $\text{Resx1}=\text{ceil}(a1/1)$ y $\pi/180$. Frecuencia a 2.4 GHz, 868Mhz y 915 Mhz. Y el tipo de antena omnidireccional (1).

▪ Posición de la Antena en 3.7, 3.7, 1.6 (ejes x, y, z en m):

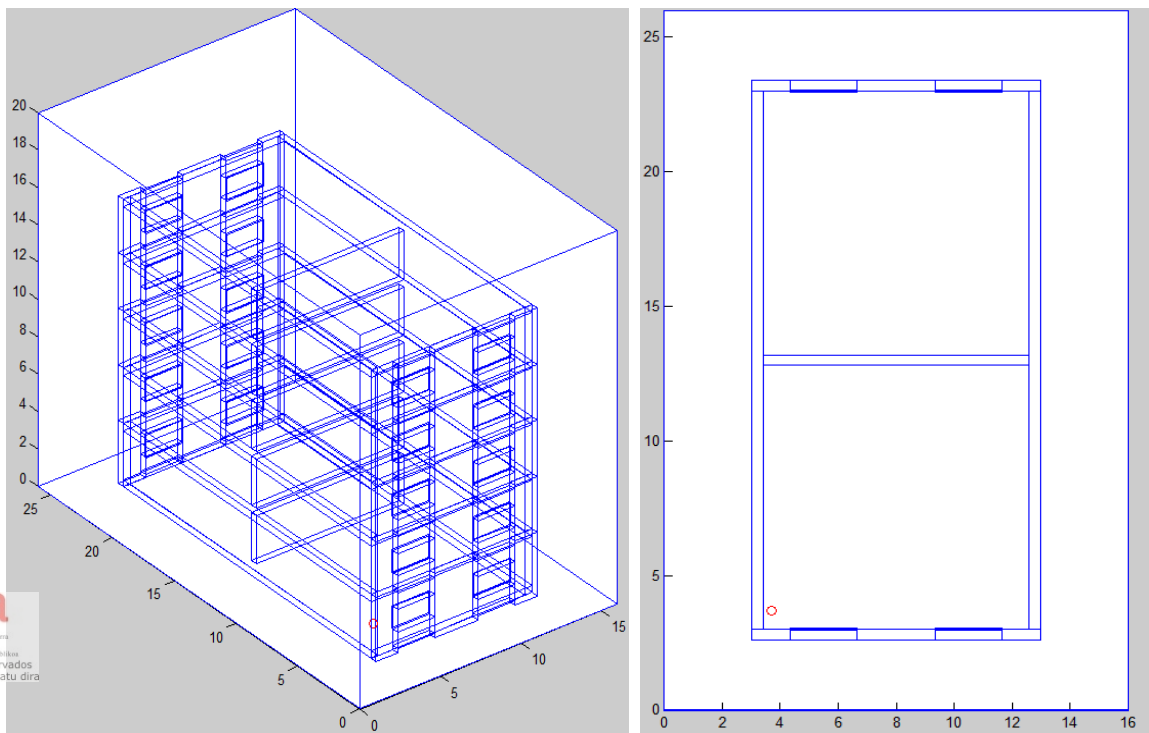


Figura164. Escenario de simulación desde diferentes vistas para antena en 3.7, 3.7, 1.6

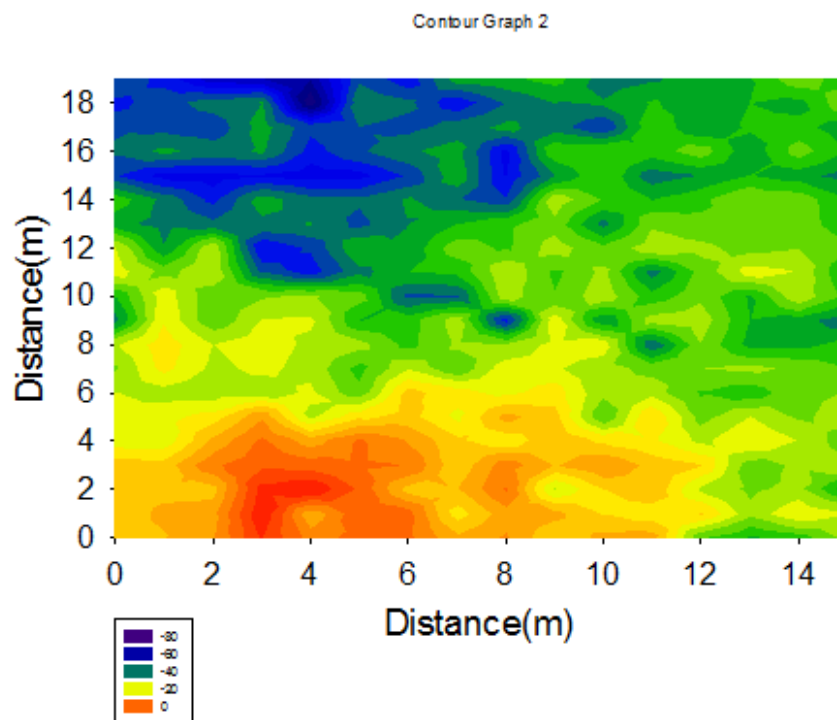


Figura165. Corte en X=6 para 2.4 Ghz

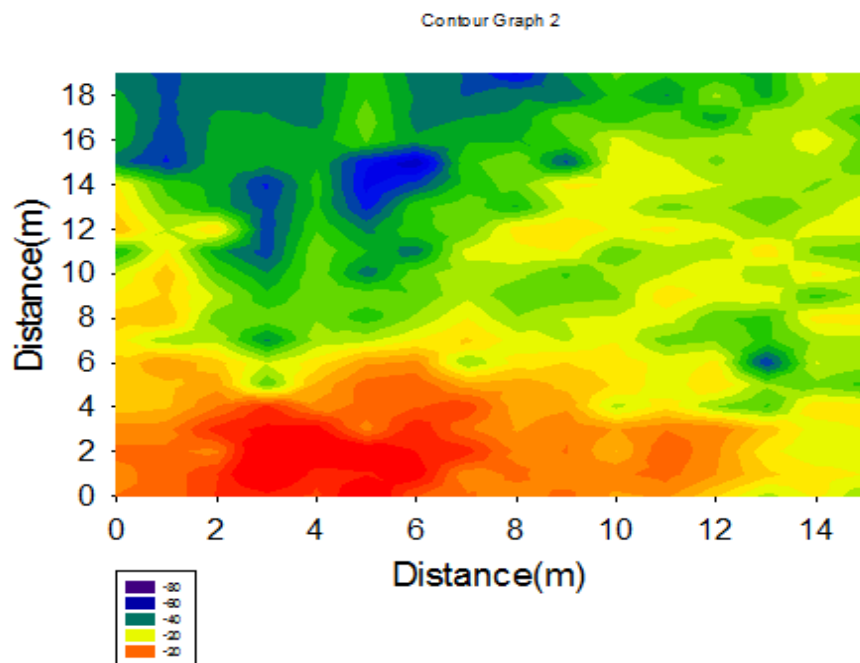


Figura166. Corte en X=6 para 868 Mhz.

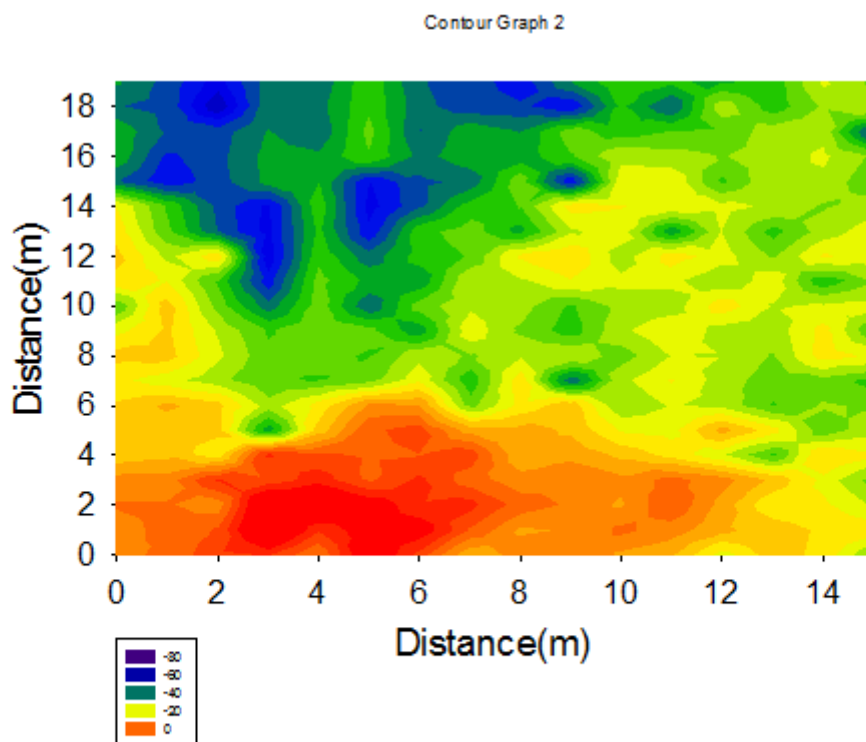


Figura167. Corte en X=6 para 915Mhz

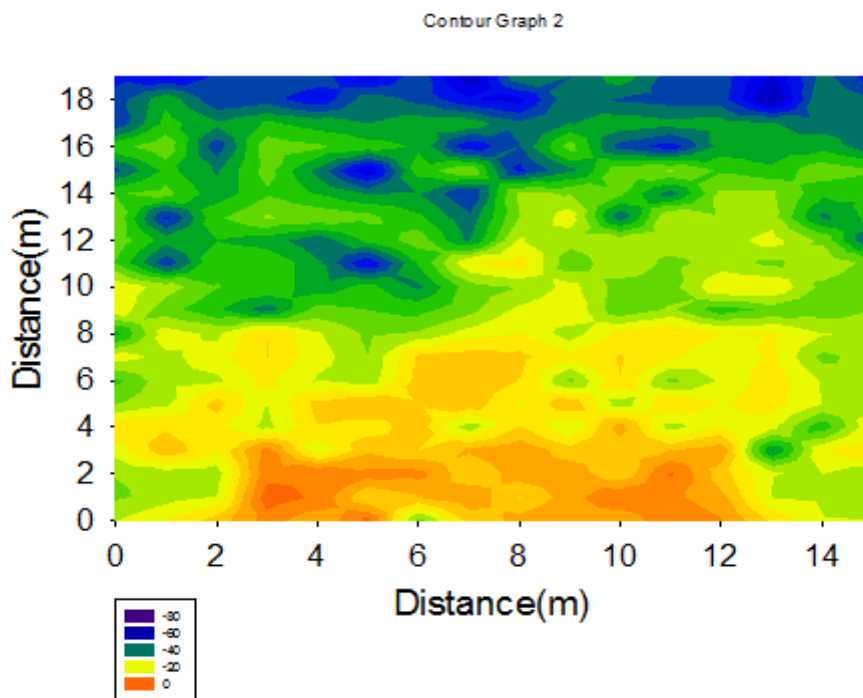


Figura168. Corte en X=9 para 2.4 Ghz.

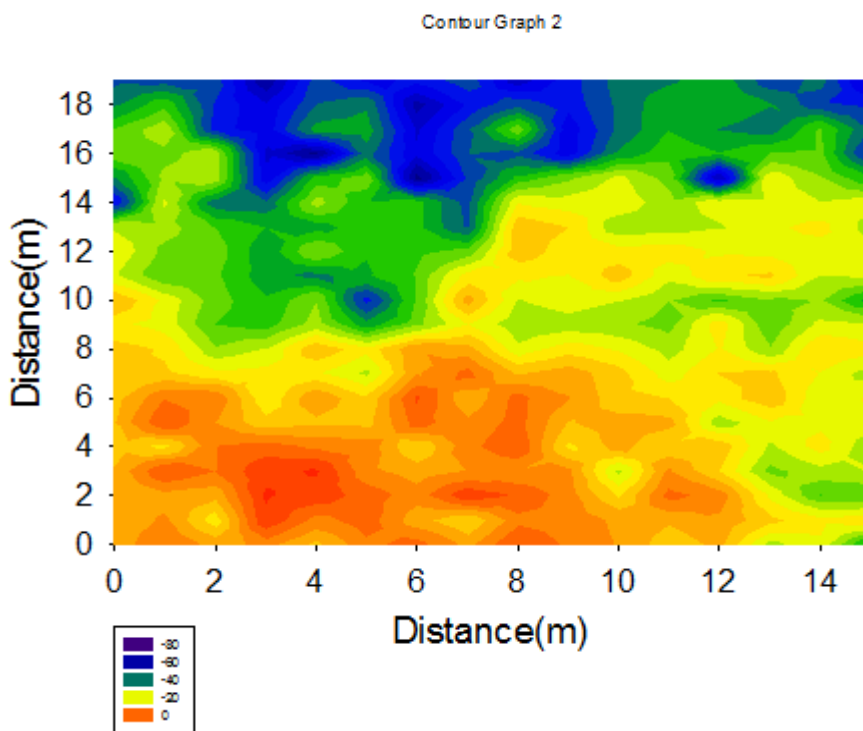


Figura169. Corte en X=9 para 868 Mhz.

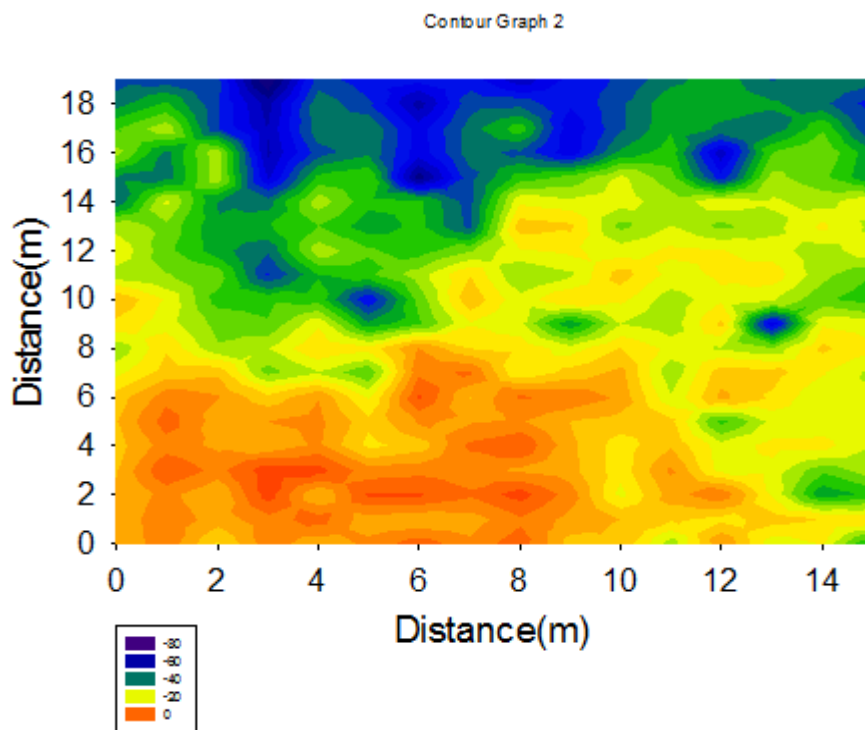


Figura170. Corte en X=9 para 915 Mhz

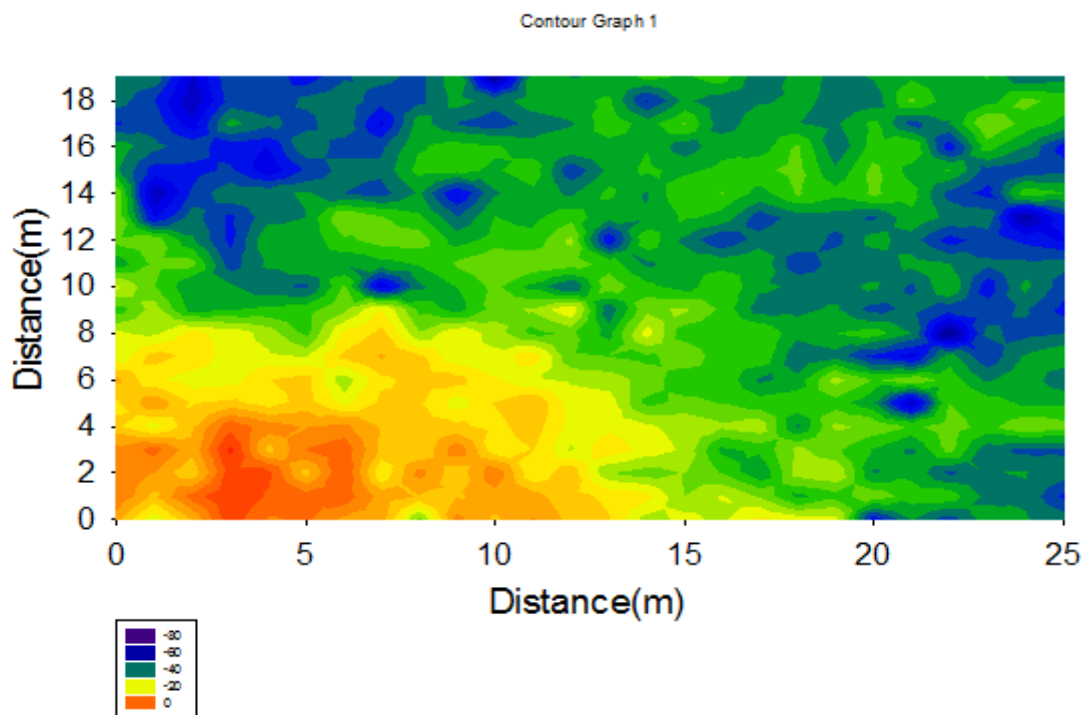


Figura171. Corte en Y=7 para 2.4 Ghz

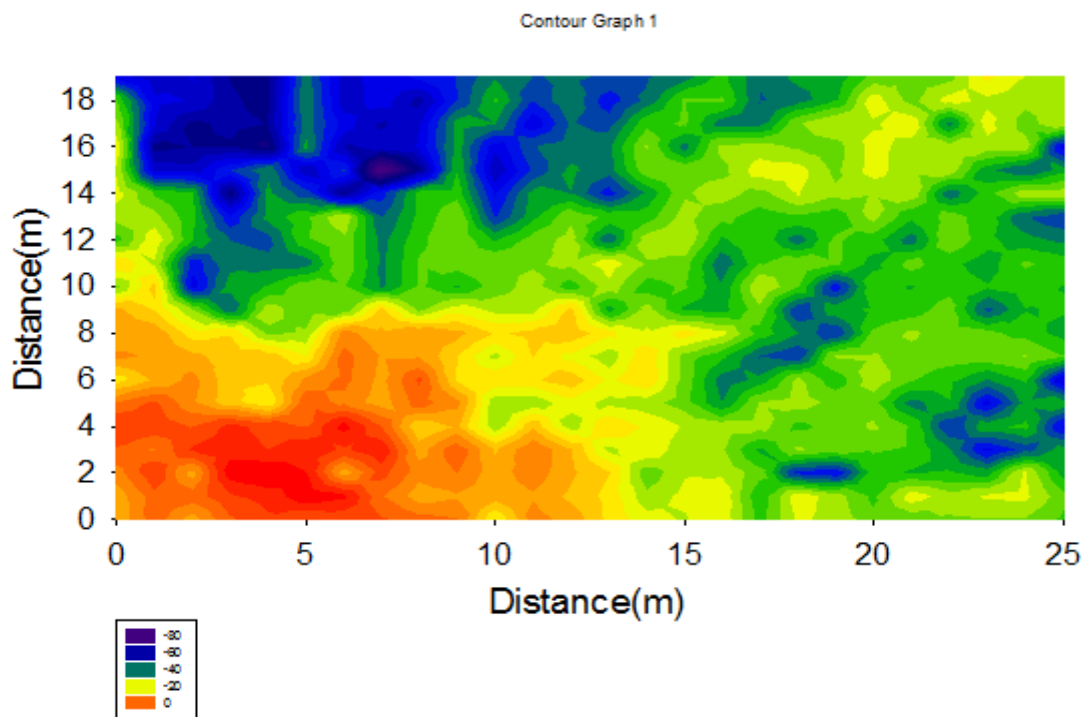


Figura172. Corte en Y=7 para 868 Mhz.

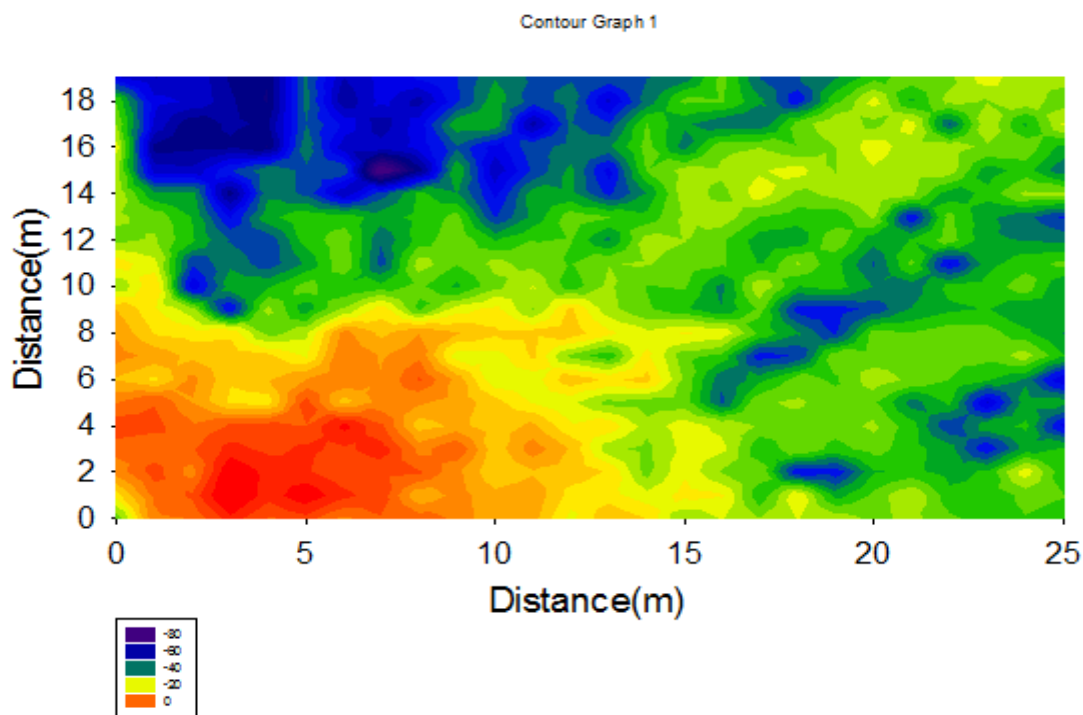
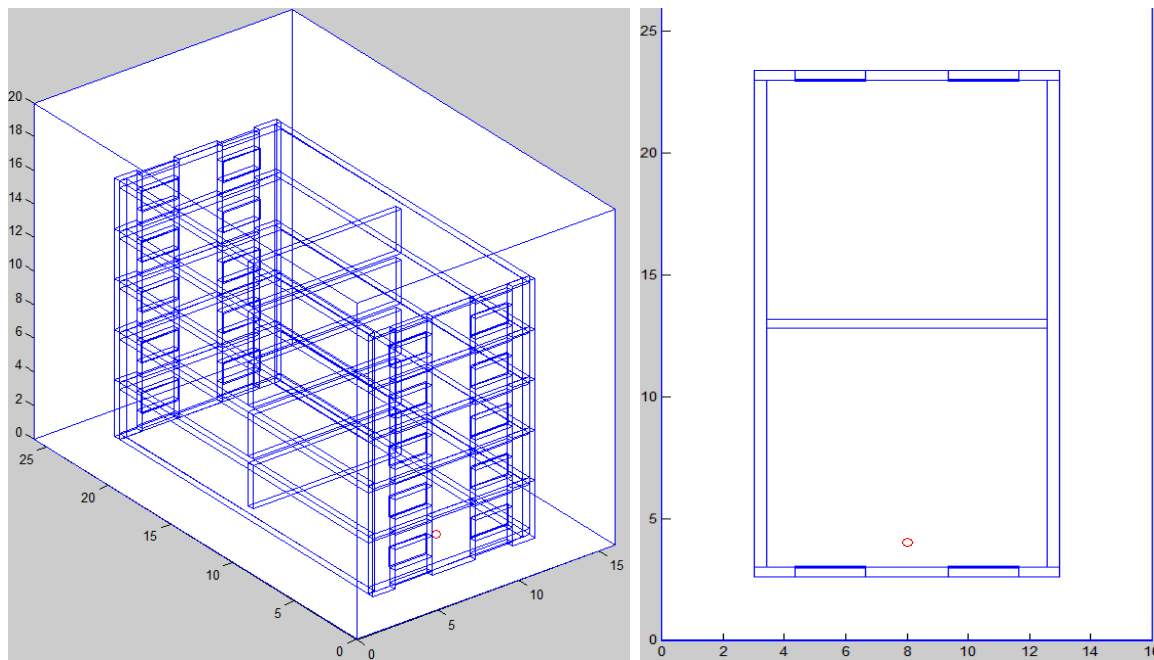


Figura173. Corte en Y=7 para 915 Mhz

- Posición de la Antena en 8, 4, 1.6 (ejes x, y, z en m):



- Figura174. Escenario de simulación desde diferentes vistas para antena en 8, 4, 1.6

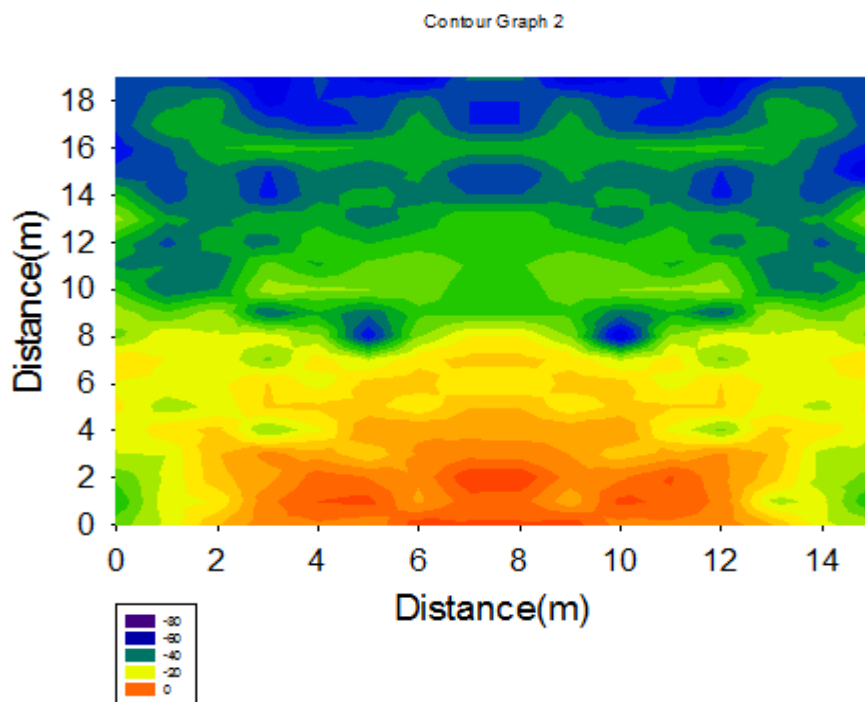


Figura175. Corte en X=6 para 2.4 Ghz

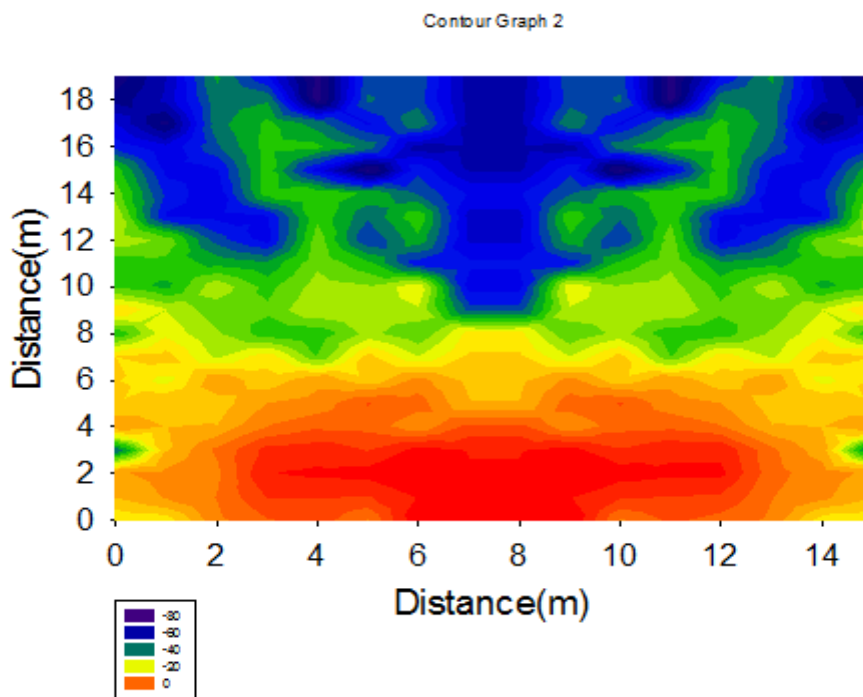


Figura176. Corte en X=6 para 868 Mhz.

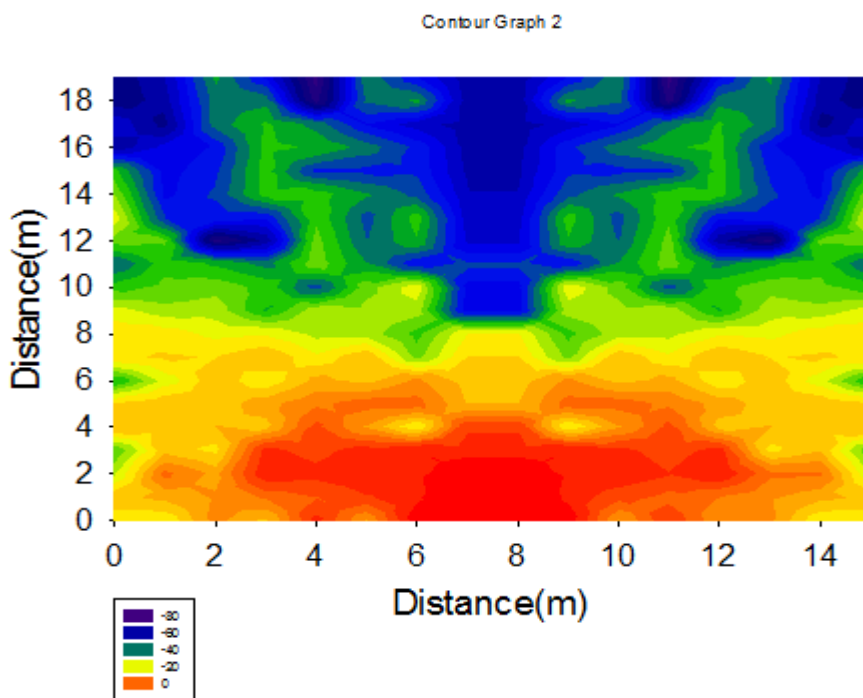


Figura177. Corte en X=6 para 915 Mhz

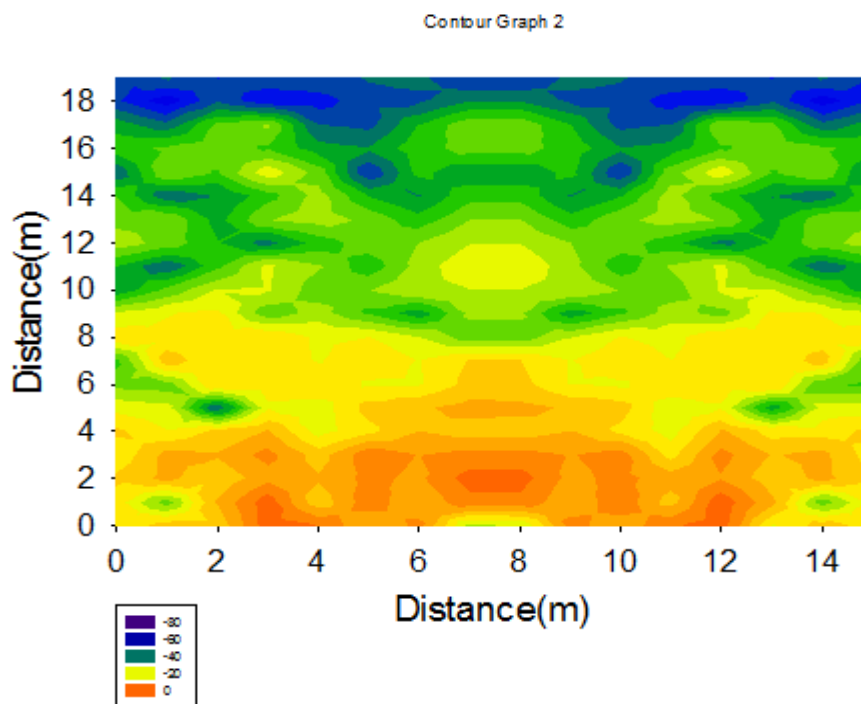


Figura178. Corte en X=9 para 2.4 Ghz

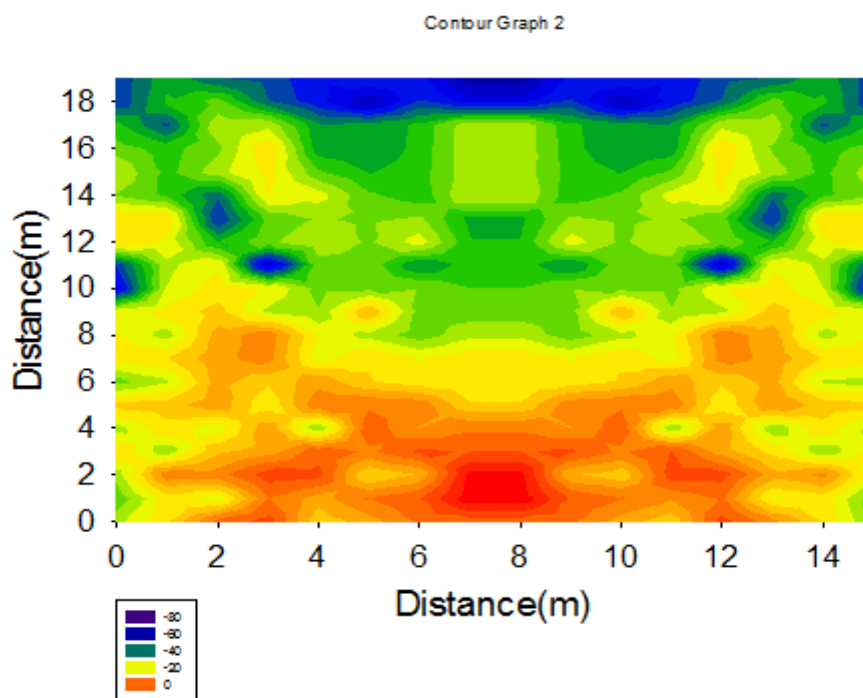


Figura179. Corte en X=9 para 868 Mhz

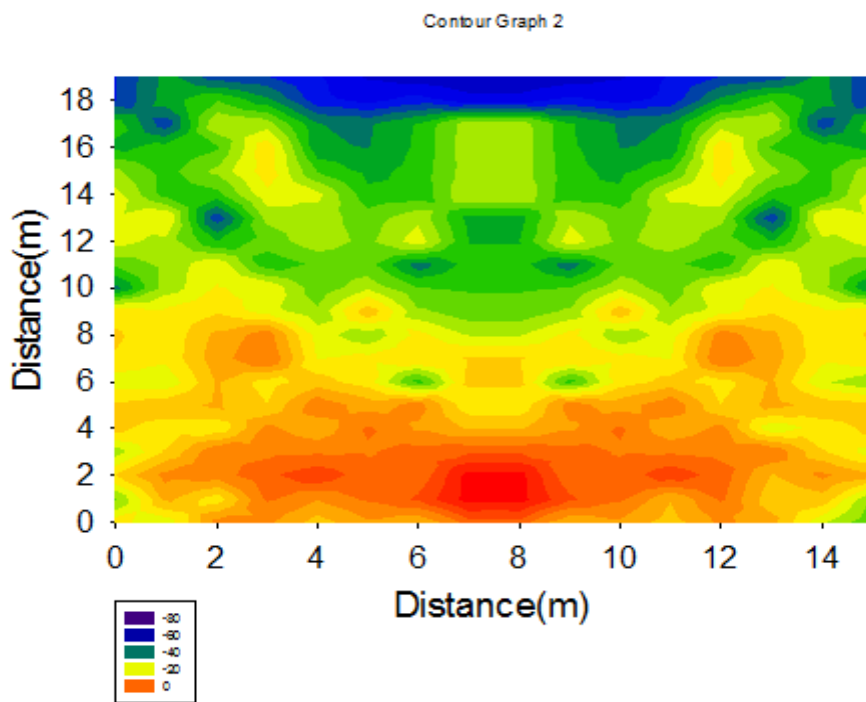


Figura180. Corte en X=9 para 915 Mhz

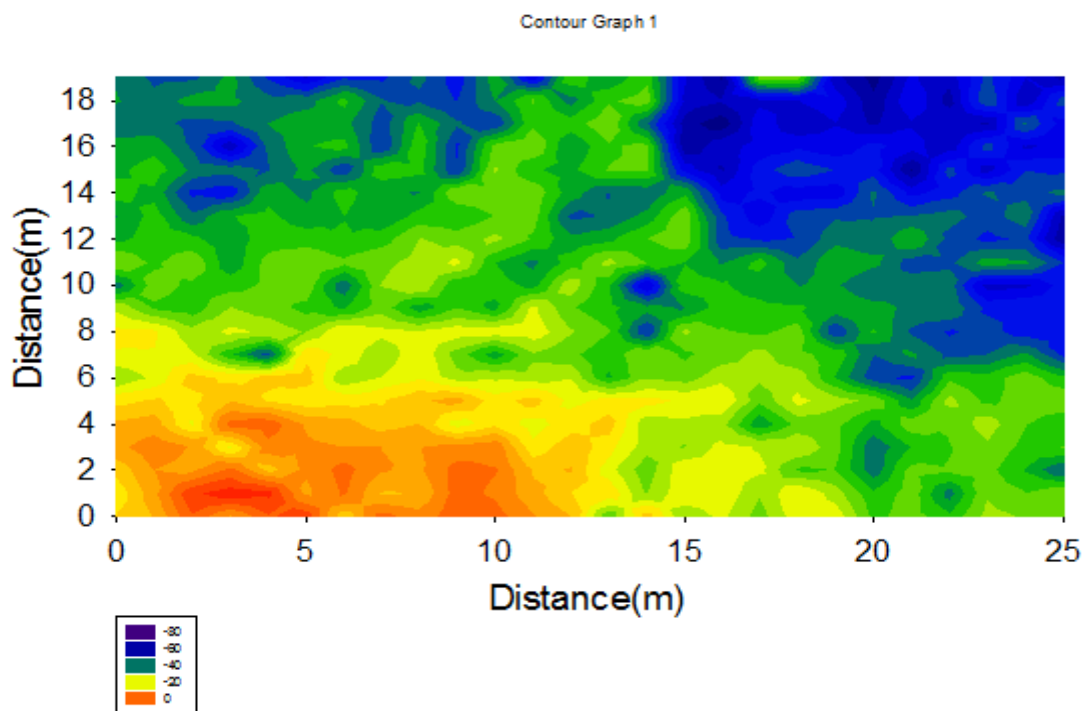


Figura181. Corte en Y=7 para 2.4 Ghz

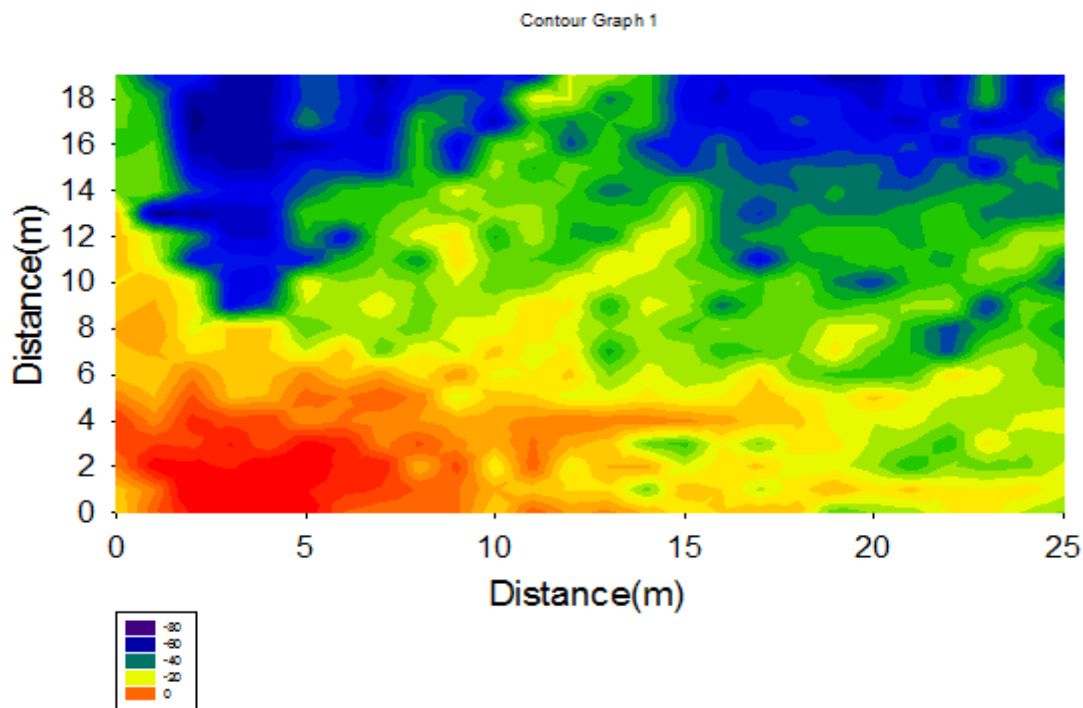


Figura182. Corte en Y=7 para 868 Mhz

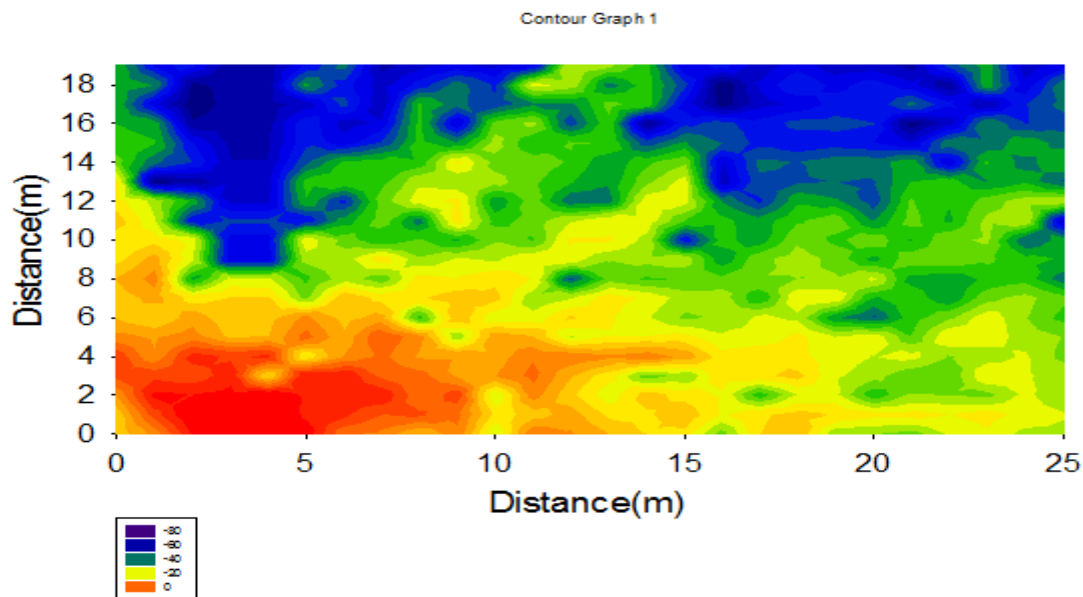


Figura183. Corte en Y=7 para 915 Mhz

■ Mapas bidimensionales para los niveles de potencia recibidos en nuestro escenario urbano con los siguientes parámetros: potencia a 0.001 W, número de rebotes a 6, la resolución $\text{Resx1}=\text{ceil}(a1/1.5)$ y $\pi/180$. Frecuencia a 24000000 Hz. Y el tipo de antena omnidireccional (1).

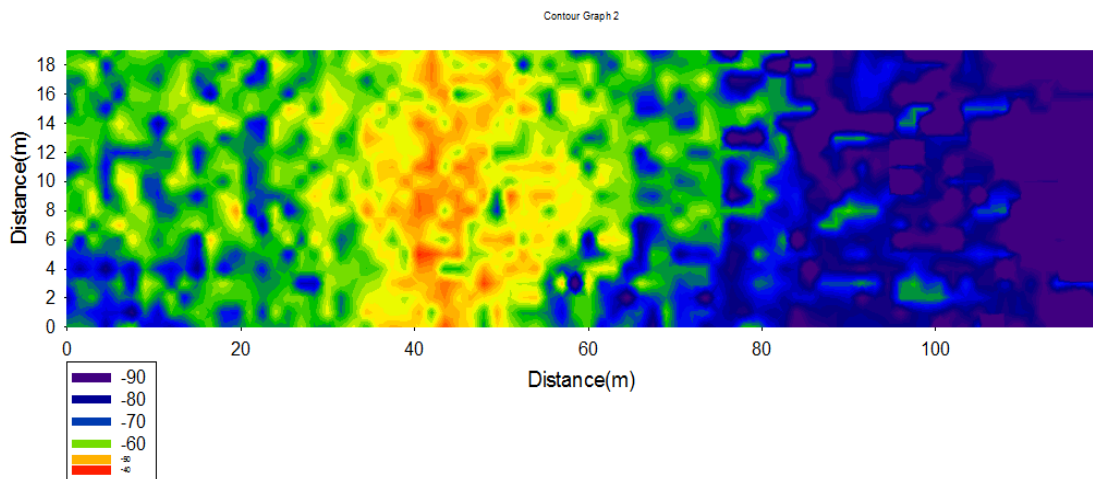


Figura184. Corte en X=7 metros con Antena en 30, 30, 3 metros.

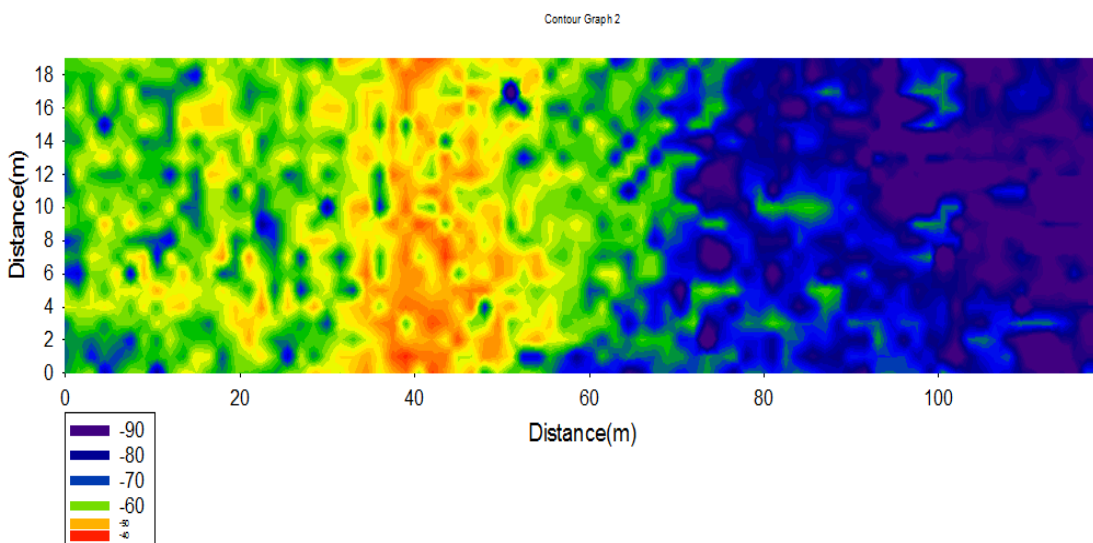


Figura185. Corte en X=13 metros con Antena en 30, 30, 3 metros.

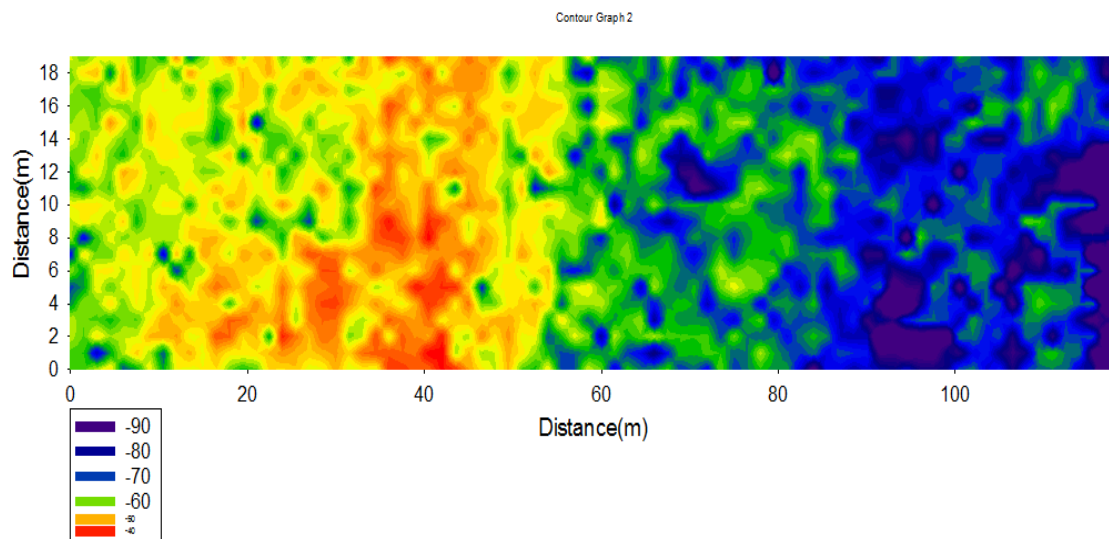


Figura186. Corte en X=19 con Antena en 30, 30, 3 metros.

■

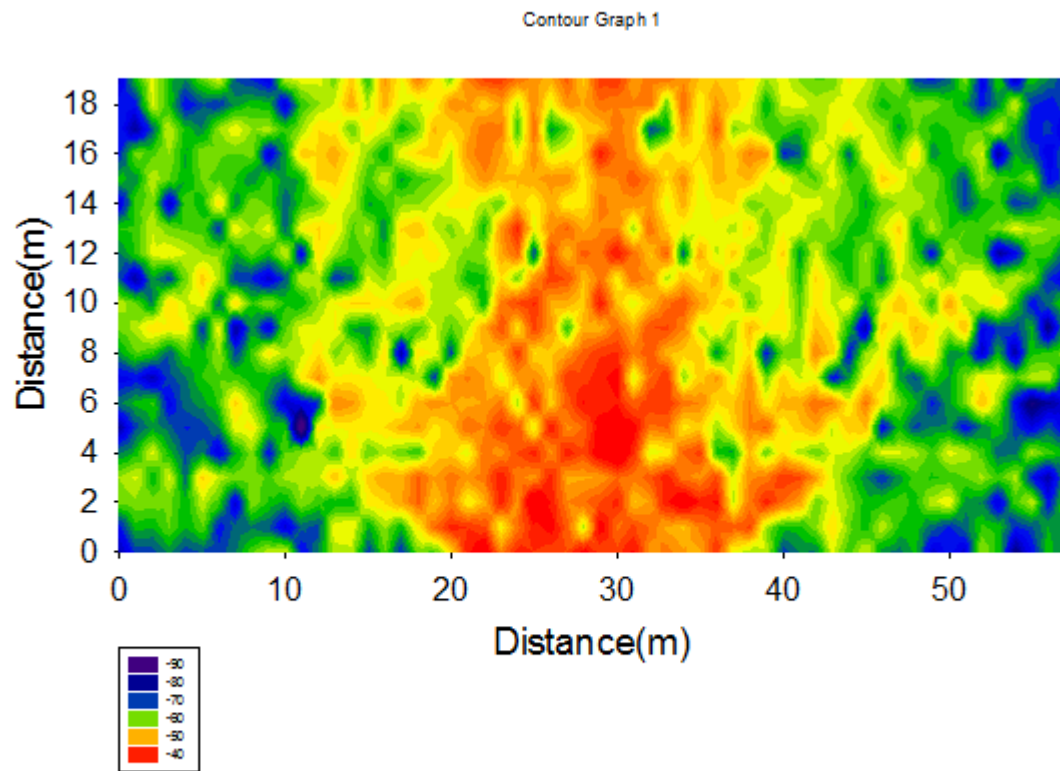


Figura187. Corte en Y=13 metros con Antena en 30, 30, 7 metros.

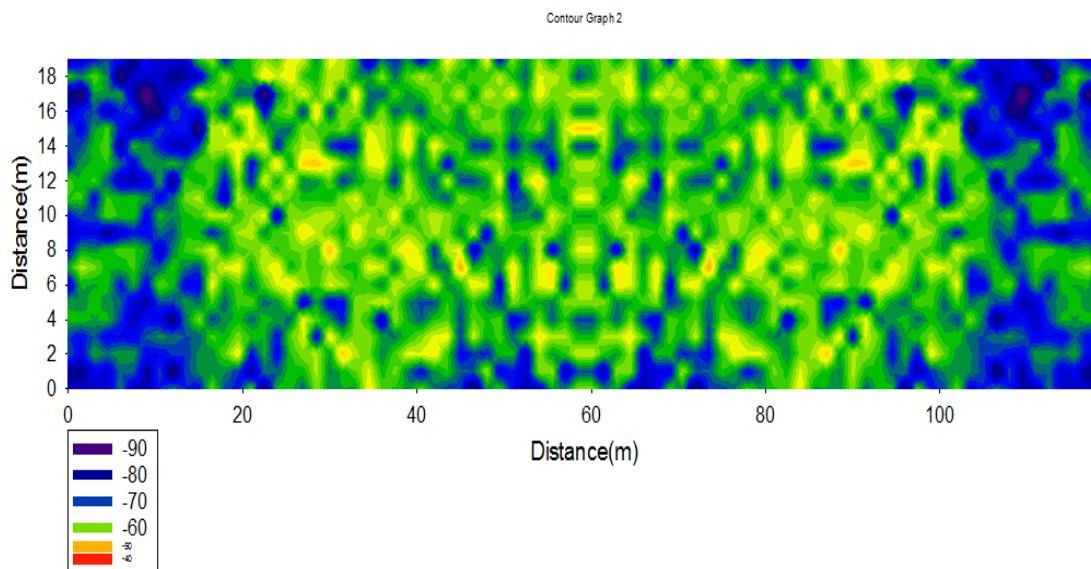


Figura188. Corte en X= 8 metros con Antena en 60, 30, 3 metros.

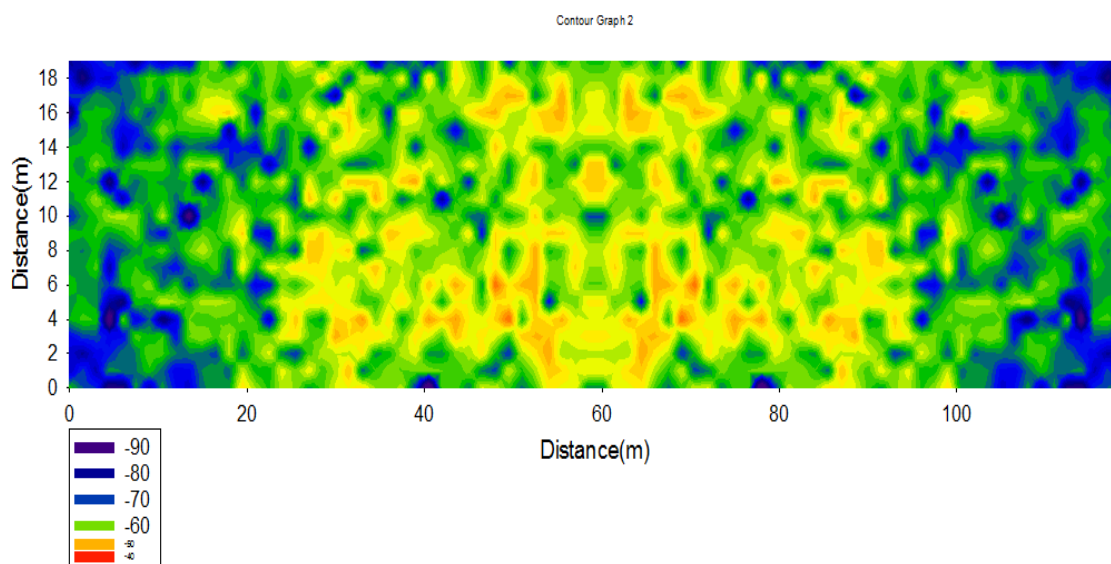


Figura189. Corte en X=14 metros con Antena en 60, 30, 3 metros.

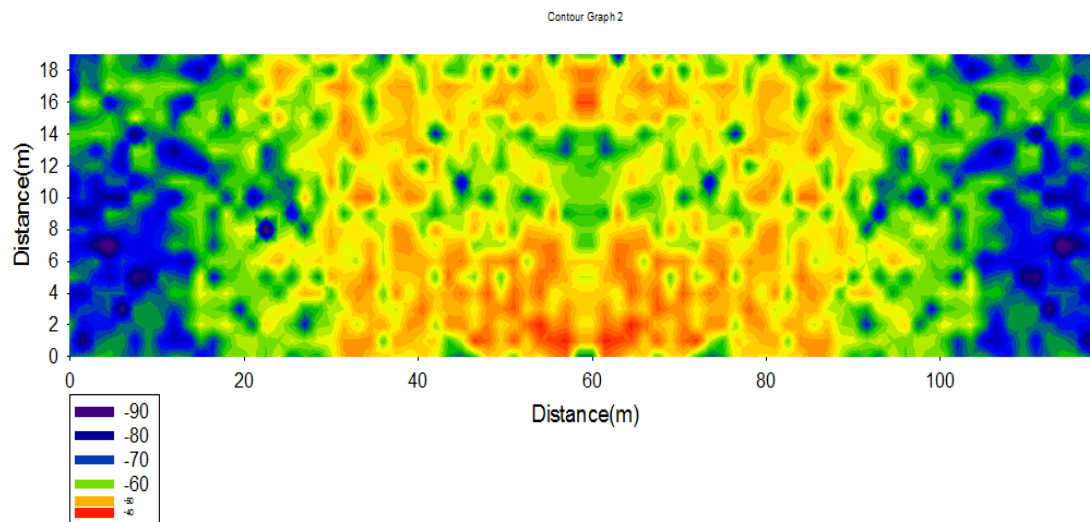


Figura190. Corte en X=20 metros con Antena en 60, 30, 3 metros.

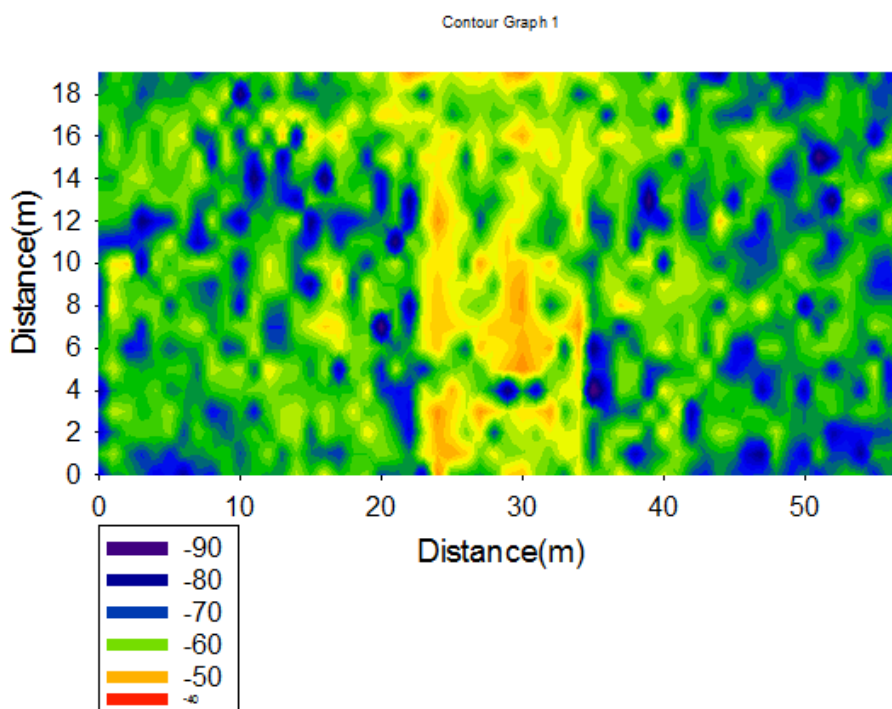


Figura191. Corte en Y=13 metros con Antena en 60, 30, 3 metros.

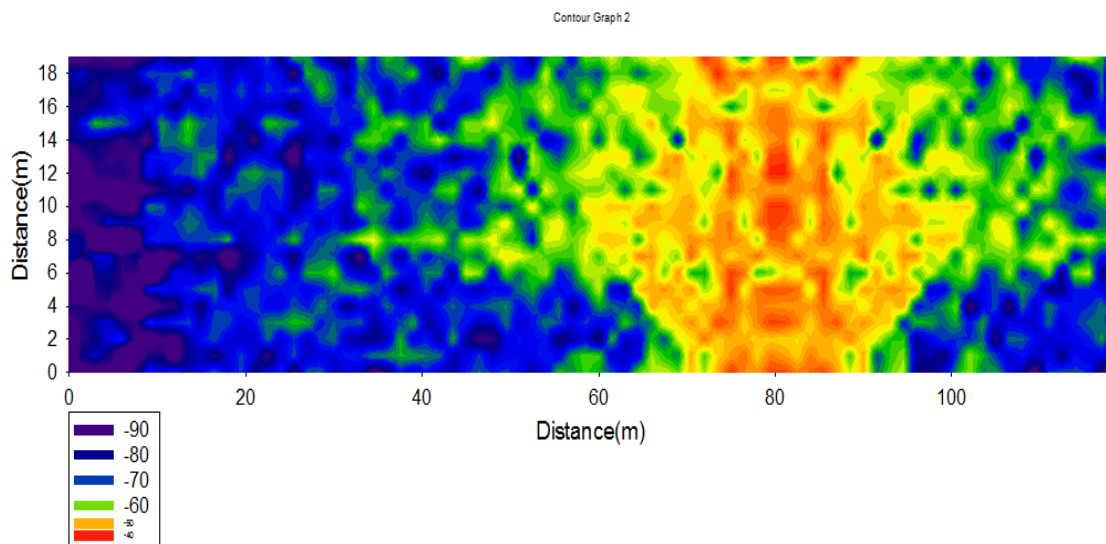


Figura192. Corte en X=9 metros con Antena en 81, 29, 3 metros.

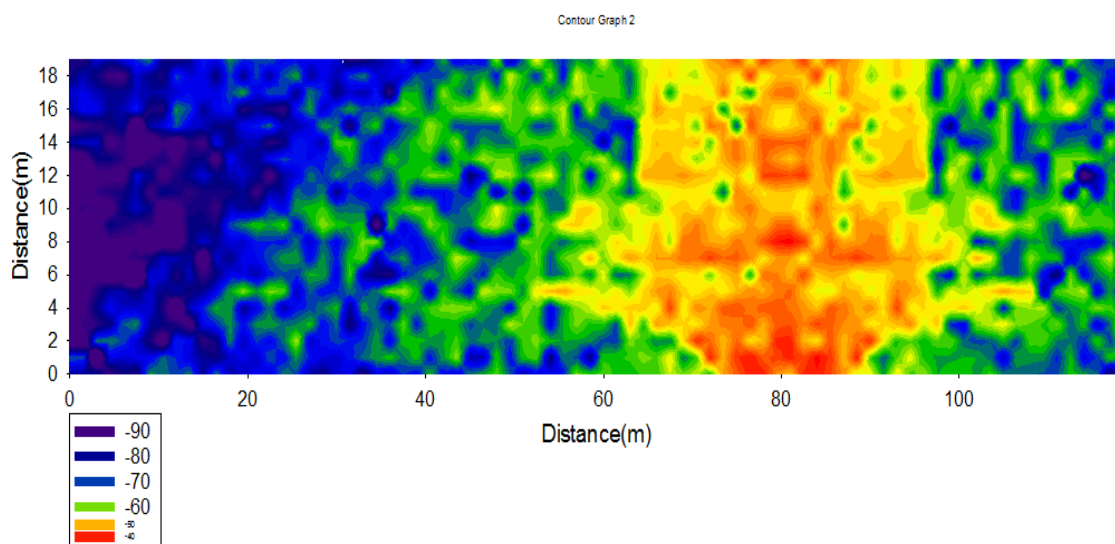


Figura193. Corte en X=15 metros con Antena en 81, 29, 3 metros.

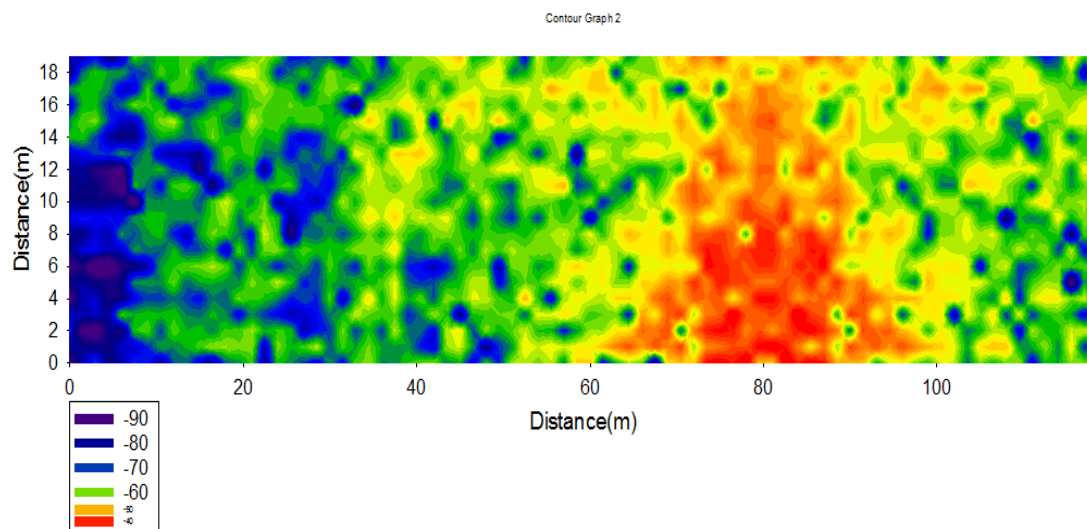


Figura194. Corte en X=21 metros con Antena en 81, 29, 3 metros.

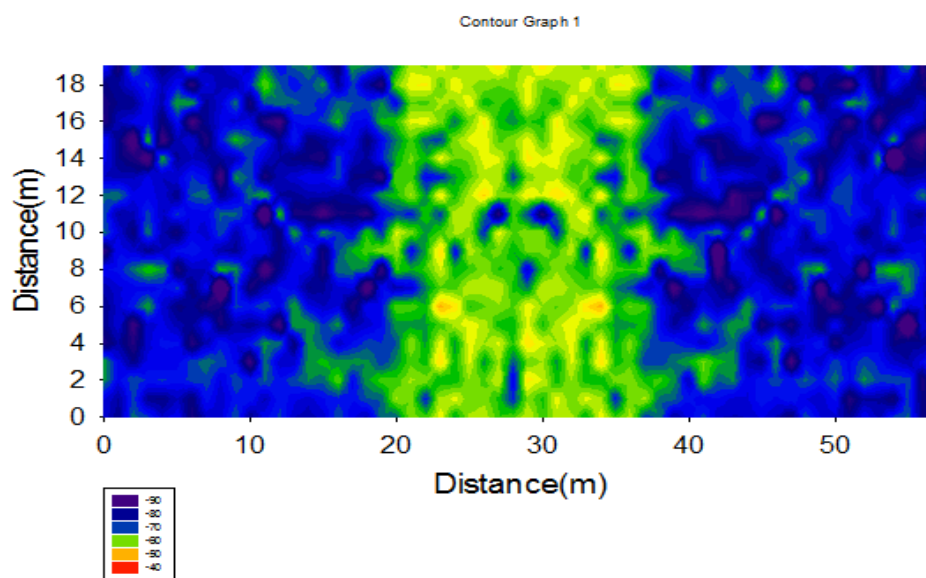


Figura195. Corte en Y=13 metros con Antena en 81, 29, 3 metros.



8.3 Publicaciones

Implementing Context Aware Scenarios to Enable Smart Health in Complex Urban Environments

Erik Aguirre, Maryuri Flores, Leire Azpilicueta, Peio López-Iturri and
Francisco Falcone

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Universidad Pública de Navarra
Pamplona, Spain
francisco.falcone@unavarra.es

Victoria Ramos
Unidad de Telemedicina
Instituto de Salud Carlos III
Madrid, Spain
vramos@isciii.es

Agusti Solanas
Smart Health Research Group
Department of Computer Engineering and Mathematics
Universitat Rovira i Virgili
Tarragona, Catalonia. Spain
agusti.solanas@urv.cat



Abstract—The availability of context aware scenarios is a compulsory requirement in order to achieve efficient Smart Health services. In this article, the deployment of large scale wireless sensor networks to enable interactive scenarios in order to provide health services will be analyzed by means of deterministic 3D ray launching techniques in order to consider topo-morphological impact in services to be provided in a complex dense urban environment. Indoor as well as outdoor wireless channel propagation is considered, in order to estimate potential interconnectivity between wireless sensor networks and mobile networks or infrastructure elements. These results provide the framework to develop true interactive scenarios based on wireless system deployment.

Keywords—Context-Aware Scenarios, Ambient Assisted Living, Wireless Communication Systems, 3D Ray Launching.

I. INTRODUCTION

One of the greatest challenges in healthcare systems is to increase quality of life of patients and users, while reducing overall costs. With this aim, the paradigm of Ambient Assisted Living (AAL) is playing a key role in order to provide the necessary interaction with the users in order to allow them to develop their everyday life within their usual environment. To achieve this, there have been developed a wide range of technologies based on retrieving biomedical and behavioral parameters from different types of sensors, which can be interconnected to several communication networks. The great acceptance that smartphones have obtained from the general public and the steady improvement of broadband access networks are the key drivers to implement a truly interactive environment.

Moreover, the wide acceptance of information and communication technologies within the healthcare sector lead to the adoption of electronic Health (e-Health), which could be understood, according to Eysenbach [8] as “an emerging field in the intersection of medical informatics, public health and business, referring to health services and information delivered or enhanced through the Internet and related technologies. In a



broader sense, the term characterizes not only a technical development, but also a state-of-mind, a way of thinking, an attitude, and a commitment for networked, global thinking, to improve health care locally, regionally, and worldwide by using information and communication technology.”

Later, with the generalisation of mobile phones (and more specifically smartphones) mobile health (m-health) was born and, according to Istepanian et al. [7], it could be understood as “emerging mobile communications and network technologies for healthcare systems”. m-Health technologies not only interact with medical data but also with other information systems, such as transportation or environmental networks in smart cities. This has led to the broader concept of Smart Health [6], in close alignment with the advent of Smart Cities [9-10]. Solanas et al. in [6] proposed the concept of s-Health and provided the following definition: “Smart health (s-Health) is the provision of health services by using the context-aware network and sensing infrastructure of smart cities.”

This new scenario will be characterized by a strong degree of interaction from the user with the surrounding environment, in order to enable a truly user-centric system conception. In order to achieve this goal, the use of communication networks in general and multiple wireless systems in particular is required. In this regard, the use of Wireless Personal Area Networks (WPAN) based on IEEE 802.15 standard as bluetooth or ZigBee combined with wider area wireless technologies like Wi-Fi or GPRS are essential [1]. Therefore and considering that the autonomy of this kind of systems should be low, healthcare monitoring systems often use Smartphones as interface and WPAN for the communication with the terminal. Some health monitoring systems have been developed using these technologies, like the ECG monitoring device Holtin[2], the U-healthcare System[3], Smart-Clothing belt[4] or ANT[5] and considering the expansion and the high connectivity possibilities of Smartphones they could be easily integrated in the smart cities environment.

To guarantee the correct operation of the Smart Health environment, which will co-exist with multiple wireless systems (mobile communication systems, wireless sensor



networks, personal and body area networks, radiolinks, among others), adequate radioplanning tasks must be performed within the scenario under analysis.

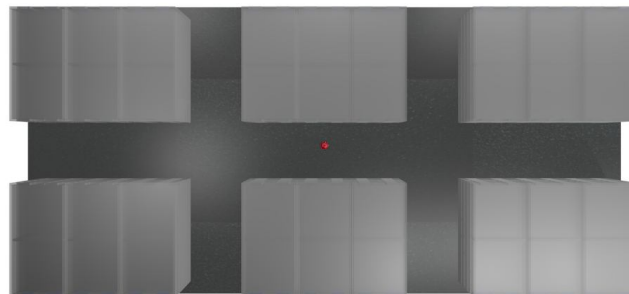
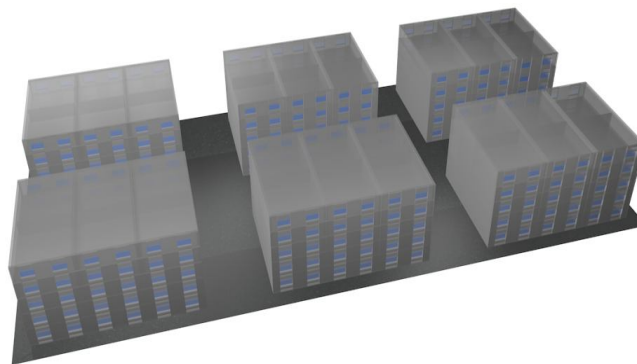
Wireless communication systems have experienced a constant evolution in terms of capacity and mobility, mainly due to the use of Adaptive Coding and Modulation schemes, spectrally efficient access schemes such as OFDMA and the existence of new spectral allocations. However, due to the dynamic nature of the communication requirements of users as well as the adaptive nature of transceivers, coverage/capacity relations are the key performance metric to consider. In this situation, the system limitation is mainly given by available power restrictions as well as by overall interference levels.

In this article, the performance of an heterogeneous wireless system operating within a dense urban environment will be explored. By means of deterministic 3D ray launching simulation techniques developed in-house, a section of a dense urban area is defined and wireless transceivers are emulated. The obtained radioplanning results are essential in order to deploy an effective context aware scenario, which will be applied to enable the novel concept of Smart Health.

II. DESCRIPTION OF URBAN SCENARIO

In order to analyze the performance of the potential wireless networks to enable an interactive Smart Health environment, a typical dense urban scenario has been implemented. This scenario comprises a set of six buildings, each of them with a height of 5 stories. Each building has several flats, with their corresponding indoor distribution of walls, doors and windows. Complete material parameter characteristics have been included for each structural element in order to take into account the possible impact of material choices in the different dwellings. A graphical representation of this scenario is given in Figure 1, in which a constant distribution of buildings has been used. Note, however, that other configurations could also be implemented if necessary. Due to the fact that the used simulation code is 3D and that indoor spaces have also been included, an analysis in which indoor and outdoor communications can be performed simultaneously considering the specific conditions for each location within the scenario.

The utilised simulation technique is based on a deterministic 3D Ray Launching code, implemented in-house. The code launches equivalent rays representing the propagating wavefront, given a determined solid angle. The simulation takes into account the complete set of parameters in order to consider radiopropagation phenomena such as reflection, refraction and diffraction from objects interacting with the radio sources located within the scenario. The simulation parameters which have been used for the setup in this article are given in Table I. The frequency of operation has been set at 2.4GHz in order to consider multiple wireless systems, such as IEEE 802.15.4 body area networks / personal area networks or IEEE 802.11 Wi-Fi networks, although this frequency can be modified to consider any required frequency band of interest.



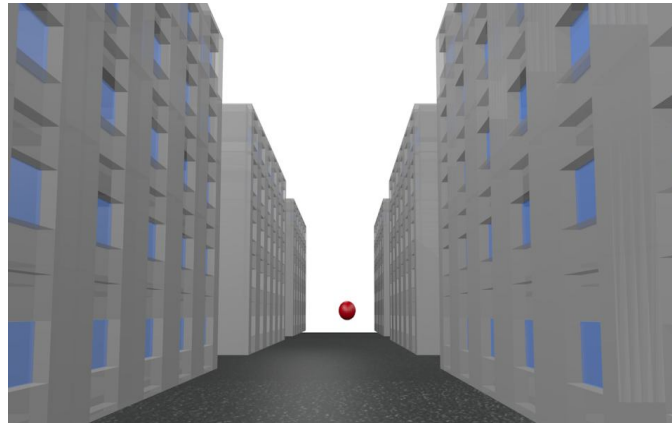


Fig. 1. Simulation scenario representing a section of a dense urban environment, from different visual angles.

III. WIRELESS SENSOR NETWORK PERFORMANCE ANALYSIS

Once the scenario has been implemented, potential transceivers can be located in it in order to emulate communication links. An initial approximation has been taken, in which one transmitter is located in the center of the scenario and potential receivers can be placed anywhere within the streets or buildings. The simulation results have been obtained for the complete volume of the scenario, with several bi-dimensional RF power planes depicted in Figure 2 (horizontal cut planes) and Figure 3 (vertical planes). The proposed transmitter has the typical operating parameters of a WiFi hot-spot, which could potentially serve as a gateway for users within the zone under analysis. As it can be observed, wireless signals are present in the complete scenario, showing significant variation with position. This is mainly due to strong multipath components, which are present due to the interaction with the surrounding elements in the scenario, with a fairly large density of structural elements.

From these results, it is worth noting that the wireless signal distribution can provide indoor coverage from a hot-spot located in the street. Moreover, indoors propagation is capable of penetrating walls and facades, which must be considered in order to carefully analyze degradation due to undesired interferences. It is also worth noting that there are locations in which received power levels are below the sensitivity threshold of

receivers (in the case of WiFi in the range of -90dBm to -100 dBm, depending on the required bit rate).

Ray Launching Simulation Parameters	
Frequency	2.4 GHz
Transmitter Power	30 dBm
Reflections	6
Vertical plane angle resolution $\Delta\theta$	1°
Horizontal plane angle resolution $\Delta\phi$	1°

TABLE I. 3D RAY LAUNCHING SIMULATION SETUP

In order to have more insight in the performance of the wireless links within the urban scenario, a detailed view corresponding to a section between two different buildings is shown in Figure 4. Once again, signal levels are strongly dependent on the location, with typical variations given by multipath propagation. This can also be observed quantitatively on the estimation of link balances on a linear distance distribution between transmitter and receiver, as depicted in Figure 5. The path loss levels have been calculated for three different heights, in order to take into account different types of devices, including mobile users as well as infrastructure elements, such as hotspots located on street lights or similar structures. As it can be seen from Figure 5, variations in the order of up to 10 dB can appear in the link balance estimation, which is given by fast fading, typical in complex environments. Hence, intercommunication between devices and systems can be achieved between different elements, such as static environmental sensors and mobile devices, such as smartphones or personal area network devices can be analyzed and optimized, in order to guarantee optimal performance in terms of quality of service and achievable transmission rate, whilst minimizing the overall energy consumption.

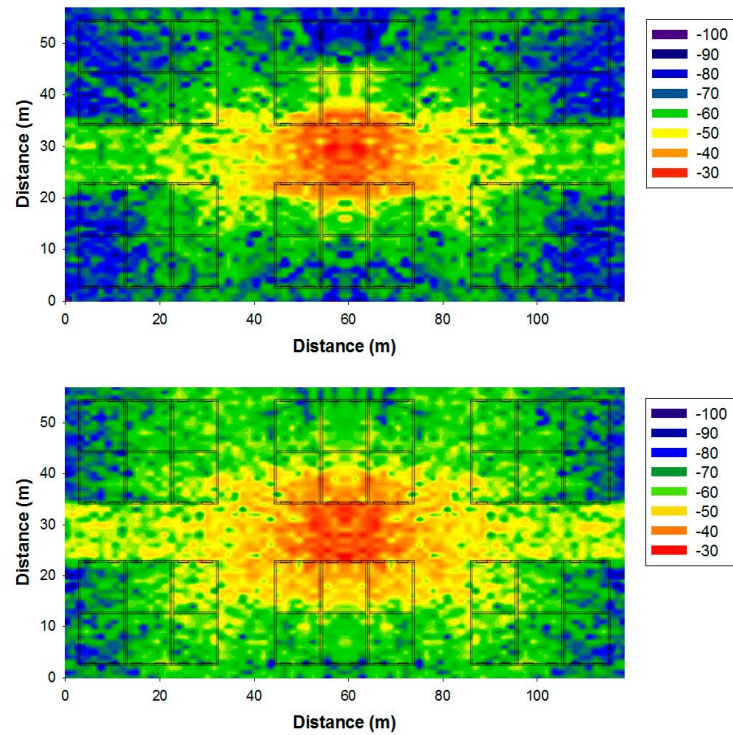


Fig. 2. Received Power Levels for the Urban Scenario at different vertical planes (top figure height = 1m, bottom figure height = 3m)

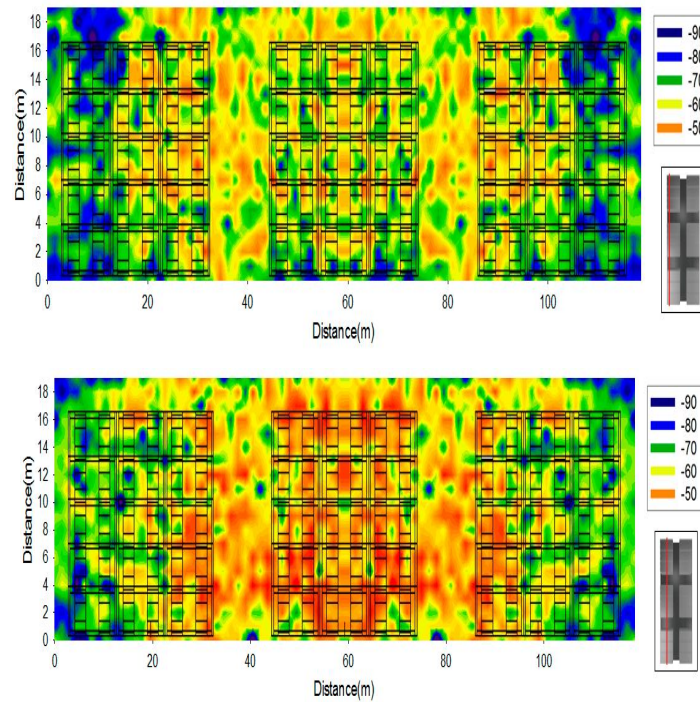


Fig. 3. Received Power Levels for the Urban Scenario at different horizontal planes (top figure y = 8m, bottom figure y = 14m)

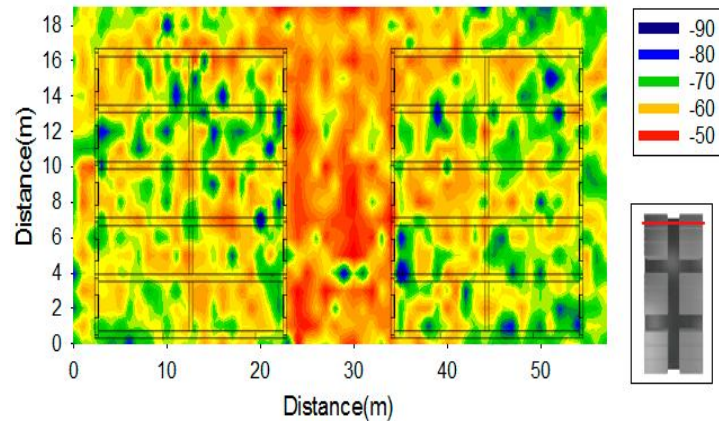


Fig. 4. Detail of Received Power Levels for the Urban Scenario (inset indicates the position)

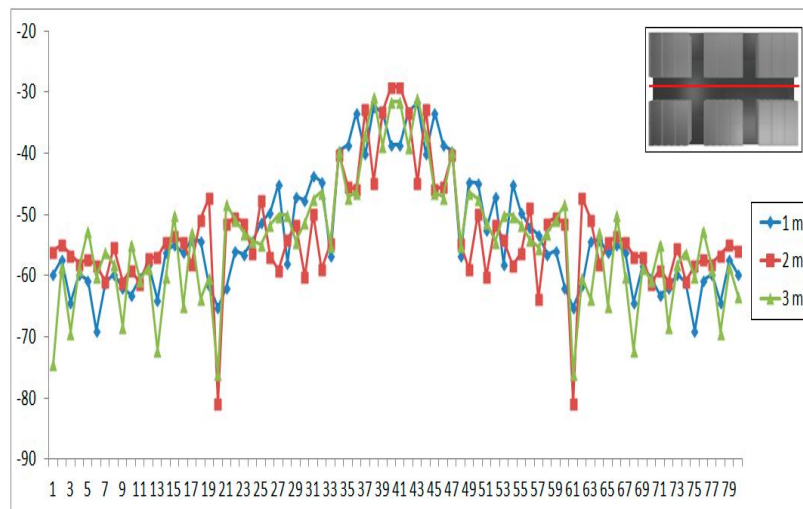


Fig. 5. Received power levels for a linear distance distribution between transceivers, at different heights.

IV. CONCLUSIONS

Due to the urbanisation process that is taking place worldwide, smart cities are gaining importance and the information and communication infrastructures in which they rely have become essential. Those infrastructures have an enormous potential and could be used to improve the healthcare system provided to citizens. With this idea in mind, the concept of Smart Health was proposed. However, the deployment of this complex infrastructure requires deep analysis of their interactions and interferences with already deployed systems.



In this article, the performance of wireless systems within a dense urban scenario have been analyzed. By means of deterministic in-house 3D ray launching simulation code, a set of buildings has been defined, including the existence of indoor dwellings. Received power levels for the complete volume of the scenario have been obtained, revealing path loss values that can be used to analyze the operation of multiple communication systems that can operate within the scenario. By estimating these path loss values, assessment in the performance of different type of services, provide by indoor elements (such as biomedical sensors) or outdoor elements (such mobile stations or WiFi hotspots). These results can aid in the adequate deployment strategy in order to guarantee a truly context aware and interactive environment.

ACKNOWLEDGEMENTS

Agusti Solanas is partly funded by La Caixa Foundation through project "SIMPATIC: Intelligent, Autonomous and Private Monitoring System based on ICT" RECERCAIXA'12, and by the Government of Catalonia under grant 2009 SGR 1135. He is also supported by the Spanish Government through project CONSOLIDER INGENIO 2010 CSD2007-0004 "ARES," and project TIN2011-27076-C03-01 "CO-PRIVACY".

REFERENCES

- [1] I. Martínez, J. Escayola, M. Martinez-Espronceda, L. Serrano, J. Trigo, S. Led, J. García, " Standard-Based Middleware Platform for Medical Sensor Networks and u-Health", Proc. 17th Int. Conf. Comp. Com. Net., pp. 1-6, August 2008.
- [2] S. Led, L. Azpilicueta, E. Aguirre, M. Martínez de Espronceda, L. Serrano, F. Falcone, "Analysis and Description of HOLTIN Service Provision for AECG monitoring in Complex Indoor Environments," Sensors, vol. 13, no. 4, pp. 4947-4960, April 2013.
- [3] S. H. Kim, D. W. Ryoo, C. Bae, "U-healthcare System using Smart Headband", 30th Ann. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Bio. Soc., pp. 1557-1560, August 2008.



- [4] L.M. Borges, N. Barroca, F. J. Velez, A. S. Lebres, "Smart-clothing wireless flex sensor belt network for foetal health monitoring", 3rd Int. Conf. Perv. Comp. Tech. Healthcare, pp. 1-4, April 2009.
- [5] P. M. Butala, Y. Zhang, Little, T.D.C., Littel, R.C. Wagenaar, "Wireless System for Monitoring and Real-Time Classification of Functional Activity", 2012 Fourth Int. Conf. Com. Sys. Net., pp 1-5, January 2012.
- [6] A. Solanas, C. Patsakis, M. Conti, I. Vlachos, V. Ramos, F. Falcone, O. Postolache, P. Pérez-Martínez, R. Di Pietro, D. Perrea, and A. Martínez-Ballesté, "Smart health: A context-aware health paradigm within smart cities," Universitat Rovira i Virgili, Smart Health Research Group. Tech. Rep., November 2013, <http://www.s-health.eu>.
- [7] R. Istepanian, S. Laxminarayan, and C. S. Pattichis, "M-health: emerging mobile health systems," M-Health: Emerging Mobile Health Systems, Edited by R. Istepanian, S. Laxminarayan, and CS Pattichis. 2006 XXX, 624 p. 182 illus. 0-387-26558-9. Berlin: Springer, 2006., vol. 1, 2006.
- [8] G. Eysenbach. "What is e-health?" J. Med. Int. Res., 3(2):e20, Apr-Jun 2001.
- [9] Antoni Martínez-Ballesté, Pablo A. Pérez-Martínez, Agusti Solanas: The pursuit of citizens' privacy: a privacy-aware smart city is possible. IEEE Com. Magn. 51(6) (2013)
- [10] Pablo A. Pérez-Martínez, Antoni Martínez-Ballesté, Agusti Solanas: Privacy in Smart Cities - A Case Study of Smart Public Parking. Int. Conf. Perv. Emb. Comp. Com. Sys., 55-59, February 2013.